BIBLIOTECA SCIENTIFICA INTERNAZIONALE

VOL. II.°

Digitized by Google

Biblioteca Scientifica Internazionale

SI È PUBBLICATO:

Blaserna. La teoria del suono . . . . . L. 5 —

DI PROSSIMA PUBBLICAZIONE

Maudsley. Della responsabilità morale nelle malattie mentali, con prefazione del traduttore Prof. Arrigo Tamassia 1 Vol.
Bernstein. I cinque sensi dell'uomo, con 100 incisioni . . 1 »
Draper. Conflitti tra la scienza e la religione . . . . . 1 »
Schützenberger. Le fermentazioni, con molte incisioni . . 1 »
Cooke. La nuova chimica, con incisioni. . . . . 1 »
Jewons. Il denaro ed il meccanismo dello scambio. . . . 1 »
Vogel. Effetti chimici della luce e la fotografia, e la loro applicazione alle arti, alla scienza e all'industria, con 100 incisioni. . . . . 1 »
Bagehot. Leggi scientifiche della costituzione delle nazioni 1 »
Tyndall. Nuvole, fiumi, ghiaccio, e ghiacciaie, con molte incisioni . . . . . 1 »
Amos. La scienza della legge . . . . . 1 »
Withney. Della linguistica moderna . . . . . 1 »
Dumont. La scienza della sensibilità [Piacere e dolore]. . 1 »
Schmid. L'origine degli esseri e il Darwinismo, con incisioni 1 »
Fuchs. Vulcani e Terremoti, con incisioni e carte . . . . 1 »
Spencer. La Sociologia . . . . . 1 »

Fra le opere originali vedranno la luce quanto prima lavori di Messedaglia, Cantoni G. e Lombroso C.

Digitized by Google

18-2-55

13-2-

L'ENERGIA

SUE FORME — SUE LEGGI
SUA CONSERVAZIONE

PER

BALFOUR STEWART.

CHE COS'È LA FORZA?

PER P. DI SAINT ROBERT.

CORRELAZIONE DELLA FORZA VITALE
COLLE FORZE FISICO-CHIMICHE

PER G. LE CONTE.

CORRELAZIONE DELLA FORZA NERVOSA
COLLA FORZA MENTALE

PER A. BAIN.

R. BIBLIOTECA DI CREMONA

MILANO
FRATELLI DUMOLARD
1875.

19037

Digitized by Google

Proprietà letteraria.

MILANO, COI TIPI DI A. LOMBARDI

Digitized by Google

INDICE DELLE MATERIE.

AVVERTENZA . . . . . Pag. XIII
NOTA PREMESSA ALL'EDIZIONE AMERICANA . . . . . » XV
PREFAZIONE . . . . . » XVII

CAPITOLO I.

CHE COS'È L'ENERGIA?

	Art.	Pag.
Nostra ignoranza sugli individui	1-4	1
Nel mondo organico	5-6	3
Nel mondo inorganico	7-9	4
Attività delle molecole	10-11	6
Azione e reazione sono eguali ed opposte.		
Spiegazione mediante una boccia di pesci dorati	12	8
» » un fucile	13-14	8
» » la caduta di una pietra . .	15-16	10
Considerazioni sulla scarica del fucile	17	11
La palla possiede energia	18	12
Definizione dell'energia.	19	12
L'energia è proporzionale alla massa	20	12

Digitized by Google

	Art.	Pag.
Essa non è semplicemente proporzionale alla velocità	21-22	13
Definizione del lavoro.	23	14
Regola per misurare il lavoro.	24	14
Relazione tra la velocità e l'energia.		
Definizione della velocità	25	15
Chilogramma lanciato in alto	26-27	16
L'energia è proporzionale al quadrato della velocità	28	17
Esempii	29	18
La resistenza e la spinta dell'atmosfera sono trascurate	30	18
L'energia è indipendente dalla direzione del moto	31	18
Altre forze, oltre la gravità	32-33	19

Capitolo II.

ENERGIA MECCANICA E SUA TRASFORMAZIONE IN CALORE.

	Art.	Pag.
Energia di posizione.		
In una pietra collocata in alto	34	21
In una massa d'acqua situata in alto.	35	22
In un arco teso, in un orologio caricato	36	23
Vantaggi derivanti dalla posizione.	37	24
Trasformazioni dell'energia visibile.		
In un chilogramma lanciato in alto	38	25
In un chilogramma discendente	39	26
Velocità nel piano inclinato	40-41	26
Funzione delle macchine.		
Le macchine non fanno che trasformar l'energia	42	28
Spiegazione mediante un sistema di puleggie	42	28
» » un torchio idraulico	43	29
Principio delle velocità virtuali. [Ciò che guadagniamo in forza perdiamo in spazio]		
Trovato da Galileo	44	31

Digitized by Google

	Art.	Pag.
Spiegato mediante una leva.	44	32
» » un piano inclinato	45	32
Che cosa fanno la percussione e l'attrito.		
L'attrito converte l'energia in una forma meno utilizzabile	46	33
La percussione fa lo stesso.	47	34
Quando l'attrito e la percussione distruggono il movimento, apparisce calore	48	35
Il calore è una specie di movimento.		
Esperimenti di Davy.	49-51	35
Esperimenti di Rumford	52	36
Argomenti, che se ne ricavano	53-55	37
Il calore è un movimento vibratorio.		
Un corpo caldo non è in movimento come un tutto.	57	
Analogia fra il calore ed il suono	57	39
Equivalente meccanico del calore.		
Gli effetti calorifici sono proporzionali all'energia	58	40
Esperimenti di Joule.	59-61	41
Valore dell'unità di calore	62	43
Vi sono altre varietà di energia	63	44

Capitolo III.

FORZE ED ENERGIE DELLA NATURA. LEGGE DELLA CONSERVAZIONE.

Connessione tra le forze e le energie della natura .	64	45
Enumerazione delle forze della natura.		
[1] Gravitazione: sua legge.	65	45
La gravitazione è una forza debole.	66	47
[2] Elasticità	67	47
[3] Coesione. [Definizione della molecola e dell'atomo]	68-69	48
[4] Affinità chimica	70-71	49
Considerazioni sulle forze molecolari ed atomiche	72-78	51

Digitized by Google

	Art.	Pag.
Elettricità. Sue proprietà.		
Osservazioni sull'elettricità	79-80	56
Conduttori e non conduttori	80	57
Vi sono due specie di elettricità	81	57
Queste due specie si svolgono sempre insieme	82	59
Ipotesi elettrologica	83	59
L'elettricità si produce solamente, quando si strofinano tra loro corpi eterogenei	84	59
L'elettricità è probabilmente collegata coll'affinità chimica	84	60
Lista delle sostanze, che svolgono elettricità	85	60
Macchina elettrica	86	61
Induzione elettrica	87-88	61
Bottiglia di Leyda	89-90	62
Corrente elettrica	91-92	64
Poli della pila	92	65
Stato elettrico dei poli	93	66
Direzione della corrente	94-95	66
Effetti magnetici della corrente	96-97	67
Effetto calorifico della corrente	98	68
Effetto chimico della corrente	99	68
Attrazioni e ripulsioni mutue delle correnti	100	69
Attrazioni e ripulsioni mutue dei magneti	101	69
Correnti d'induzione	102-105	70
Enumerazione delle energie della natura.		
[A] Energia di moto visibile	107	72
[B] Energia visibile di posizione	108-109	73
[C] Movimento termico	110	74
[D] Separazione molecolare	110	74
[E] Separazione atomica o chimica	111	74
[F] Separazione elettrica	112	75
[G] Elettricità in movimento	113	75
[H] Energia raggiante	114	75
Legge della conservazione dell'energia.		
Enunciazione della legge	115-116	76
Natura delle prove della legge	117-120	77

Digitized by Google

Capitolo IV.

TRASFORMAZIONI DELL'ENERGIA.

	Art.	Pag.
Energia di moto visibile.		
Trasformazione		
[1] In energia di posizione	121-122	80
[2] In calore assorbito — nei movimenti alla superficie della terra	123-131	81
In calore assorbito, nei movimenti dei corpi celesti	132-137	85
[3] In separazione elettrica. [Macchina elettrica]	138-139	90
[4] In corrente elettrica	140-143	91
Magneto-elettricità	144-147	94
Energia visibile di posizione.		
Sua trasformazione in energia di moto visibile	148	96
Calore assorbito, sotto le sue due forme.		
Trasformazione		
[1] In energia di moto visibile, nelle macchine termiche	149	96
Legge di queste macchine	150-152	97
Fuoco ordinario	153	99
La terra è una macchina termica	154	99
Osservazioni sulle macchine termiche	155	100
La pressione abbassa il punto di congelamento dell'acqua	156	100
[2] Dell'una forma nell'altra — nei cambiamenti di stato fisico	157	103
Lagrime bataviche	158	104
[3] In separazione chimica	159	104
Temperatura di dissociazione	159	105
[4] In separazione elettrica, quando si riscaldano cristalli di tormalina ecc.	160	105
[5] In elettricità in movimento — nella termoelettricità	161	106

Digitized by Google

	Art.	Pag.
[6] In luce e calor raggiante	162	107
Analogia fra un corpo caldo ed un corpo sonoro	162	108
Separazione chimica.		
Trasformazione		
[1] In calore, quando si abbruciano i corpi . . .	163-164	108
Precipitati metallici	165-166	110
Cangiamenti di stato accompagnano le azioni chimiche.	167	111
[2] In separazione elettrica, quando si saldano insieme metalli eterogenei	168	112
[3] In elettricità in movimento — nella pila . . .	169-170	112
Separazione elettrica.		
Trasformazione		
[1] In movimento visibile.	171	113
[2] In corrente elettrica	172	113
Elettricità in morimento.		
Trasformazione		
[1] In moto visibile, [Attrazione mutua delle correnti]	173	114
[2] In calore — nei corpi resistenti.	174-175	114
Esperienza di Peltier	176	115
[3] In separazione chimica — nelle decomposizioni effettuate mediante la pila.	177	116
Energia raggiante.		
Trasformazione		
[1] In calore assorbito	178	117
[2] In separazione chimica — nelle foglie delle piante ecc.	179-181	118

Capitolo V.

SGUARDO STORICO — DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA.

Problemi collegati coll'energia.	182-183	120
Idee di Eraclito sull'energia.	184	121
Idee di Democrito sugli atomi	185	122
Osservazioni di Bacone.	185	122

Digitized by Google

	Art.	Pag.
Idee di Aristotile sul mezzo	186	123
Osservazioni di Whewell	186	123
Le idee degli antichi non furono feconde	187-188	124
Idee di Descartes, di Newton e di Hugghens sul mezzo	189	125
Idee di Bacone sul calore	190	125
Principio delle velocità virtuali	191	126
Sviluppo di giuste idee sul lavoro	192	127
Moto perpetuo	193	128
Teoria della conservazione	194	129
Dissipazione dell'energia	195	130
Energie naturali e loro sorgenti	196	131
[1] Combustibili, che comprendono legno e carbone	197-198	132
[2] Alimenti	199	133
[3] Massa d'acqua posta in alto	200	134
[4] Energia, che si ricava dalle maree	201	135
[5] Solfo nativo ecc.	202	135
[6] Acqua ed aria in movimento	203	135
Queste energie derivano, per la massima parte, dal sole	203	136
Il sole — Sorgente di calore ad elevata temperatura	204	136
Una luce perpetua è impossibile	205	137
Il sole non fa eccezione	206	138
Origine del calore del sole	207-208	139
Destino probabile dell'universo	209-210	141

Capitolo VI.

POSIZIONE DELLA VITA.

Osservazioni preliminari	211	143
Vi sono due specie di equilibrio	212	143
Instabilità meccanica	213-214	144
Instabilità chimica	215	145
Le macchine sono di due specie	216-220	146
Un animale è una macchina di delicata struttura	221	148
La vita agisce come il comandante di un esercito	222-226	149

Digitized by Google

	Art.	Pag.
I tessuti organici sono soggetti a decadere.	227-228	152
Differenze fra gli animali e le macchine inanimate.	229	153
La vita dipende, in ultimo, dal sole.	230-232	154

APPENDICE.

I.ª CHE COS'È LA FORZA? PER P. DI SAINT ROBERT . . . Pag. 159

II.ª CORRELAZIONE DELLA FORZA VITALE COLLE FORZE FISICO-CHIMICHE. PER G. LE CONTE. . . . . » 193

III.ª CORRELAZIONE DELLA FORZA NERVOSA COLLA FORZA VITALE. PER A. BAIN . . . . . » 225

Digitized by Google

Avvertenza.

Abbiamo creduto di aggiungere all' opera del Balfour Stewart, la memoria « Che cos'è la forza? » di Paolo di Saint Robert, che si trova annessa alla traduzione francese, e le memorie « Correlazione della forza vitale colle forze fisico-chimiche » di Giuseppe Le Conte, e « Correlazione della forza nervosa colla forza mentale » di Alessandro Bain, le quali si trovano nell'edizione americana.

Digitized by Google

Digitized by Google

Nota premessa all'edizione americana.

La grande importanza, che ha preso, in questi ultimi tempi, nel mondo scientifico, la moderna teoria della conservazione dell' energia, o della correlazione delle forze, ne ha reso desiderabile un' esposizione semplice ed accessibile a tutti. La presente opera del Dr. Balfour Stewart, ceduta alla Biblioteca Scientifica Internazionale, soddisfa pienamente questo desiderio, essendo, probabilmente, la più chiara e più elementare trattazione dell'argomento, che si sia tentata finora. Semplice nel linguaggio, copioso e famigliare nelle spiegazioni, mirabilmente lucido nell'esposizione dei fatti e dei principii, questo piccolo trattato è quale appunto si richiedeva per introdurre la pluralità dei lettori al gran problema dell' interazione delle forze fisiche. Ma, poichè il Professor Stewart si limitò più specialmente a considerare la questione dal lato fisico, era desiderabile che al suo trattato fosse aggiunta un' esposizione del modo, in cui il principio si applica alle sfere della vita e della mente. Però, d'accordo coll'autore, fu aggiunta all'edizione americana dell'opera del Dr. Stewart, un'appendice, nella quale sono considerate queste applicazioni della legge.

Digitized by Google

Il Professor Giuseppe Le Conte quattordici anni sono, pubblicò un pregevole saggio sulla « Correlazione delle forze fisiche colla forza vitale », saggio ch' ebbe molte edizioni straniere, e che meritò all'autore d'esser posto fra gl' interpreti principali della questione. Il suo modo di esporre fu risguardato come singolarmente felice, e lo adottarono molti altri scrittori. In seguito ad ulteriori investigazioni, e a più matura riflessione, egli ha recentemente rifatto il suo lavoro, che ci forni, cortesemente, perchè fosse inserito in questo volume.

Il Professore Alessandro Bain, celebre psicologo di Aberdeen, che ha tanto contribuito al progresso dello studio della mente nelle sue relazioni colla fisiologia, pubblicò, non è molto, un' interessante memoria sulla « Correlazione della forza nervosa colla forza mentale ». Questa memoria fu letta con grande interesse, la prima volta che comparve, ed ora la ristampiamo come una bella esposizione di questo ramo della scienza dell'energia. Questi due saggi, trasportando il principio della conservazione dell'energia nel campo dei fenomeni vitali e mentali, gioveranno a completare questo volume, e ad accrescerne il pregio.

Nova York. — *Dicembre.* — 1873.

Digitized by Google

PREFAZIONE.

Noi possiamo considerare l'Universo come un' immensa macchina fisica, e le cognizioni, che abbiamo di esso, si possono dividere in due rami.

L'uno abbraccia quanto sappiamo intorno alla struttura della macchina, e l'altro quanto sappiamo intorno al suo modo di agire.

Parve all'autore che, in un trattato come questo, i due rami si dovessero studiare insieme, più che fosse possibile; epperò ha cercato, nelle seguenti pagine, di adottare questo sistema. Egli ha risguardato un universo costituito di atomi, con un certo mezzo fra essi, come una macchina, ed ha considerato le leggi dell' energia come quelle che reggono l'azione della macchina stessa.

Il primo capitolo comprende le nostre cognizioni sugli atomi, e dà una definizione dell' energia. Quindi si enumerano le varie forze ed energie della natura, e si sta-

Digitized by Google

bilisce la legge della conservazione. Seguono le diverse trasformazioni dell' energia, secondo una lista, che l'autore deve al Professor Tait. Il quinto capitolo dà un rapido sguardo alla storia della questione, e termina colla legge della dissipazione; mentre il sesto, ed ultimo, contiene qualche considerazione sulla posizione, che gli esseri viventi occupano nell'universo dell'energia.

BALFOUR STEWART.

Dal Collegio Owen. — Manchester. — *Agosto.* — 1873.

Digitized by Google

L' ENERGIA.

CAPITOLO PRIMO.

CHE COS' È L' ENERGIA?

Nostra ignoranza sugli individui.

1. Spesse volte abbiamo una precisa cognizione delle leggi, che reggono un complesso di individui, e poco o nulla sappiamo intorno a ciascun individuo.

Ad esempio, chi registra le morti, che giornalmente avvengono in Londra, vi potrà dire che la mortalità varia col variare della temperatura, in tal maniera che un gran freddo va sempre congiunto con un gran numerò di morti; ma, probabilmente, non vi saprà rispondere, se gli domanderete di prendere qualche individuo, e di spiegarvi in qual modo il freddo ha cagionato la morte di lui.

Digitized by Google

Così pure, ognun sa, dopo uno scarso raccolto, che molto grano viene importato da paesi stranieri, ma nessuno saprebbe dire la particolare provenienza delle varie particelle di farina, che entrano a comporre un pezzo di pane.

Ed ancora, è generalmente noto che l'aria continuamente si trasporta dai poli all'equatore, come i venti alisei lo dimostrano: eppure, nessuno sarebbe capace di tracciare i diversi movimenti di una individuata particella d'aria.

2. Non abbiamo cognizioni maggiori intorno agli individui, nel campo delle scienze fisiche. Poco o nulla si sa della struttura e delle proprietà delle ultime particelle di materia, così organica che inorganica.

Certamente vi sono casi in cui un grandissimo numero di particelle son collegate insieme, per modo da agire come un individuo: e di individui siffatti noi sappiamo prevedere le azioni. Così è, per esempio, nel sistema solare, dove l'astronomo sa predire, con grande esattezza, le posizioni che, in un istante determinato, occuperanno la luna e i diversi pianeti. Non altrimenti, nelle cose umane, troviamo unioni di molti uomini, che agiscono insieme come nazioni, e l'acuto uomo di stato, il quale occupa un posto abbastanza simile a quello dell'astronomo, per rispetto all'azione ed alla reazione, che i diversi popoli esercitano, l'uno sull'altro.

Ma, se domanderemo all'astronomo, o all'uomo di stato, di prendere una individuata particella, o una individuata persona, e di predirne l'andamento, molto probabilmente, nè l'uno nè l'altro ci sapranno soddisfare.

3. Non dobbiamo cercare molto lontano la cagione della nostra ignoranza. — Gli individui, siano esseri organici, siano inanimate particelle di materia, sono, per loro natura,

Digitized by Google

in uno stato di attività continua, incessante, complessa. Ben si può dire che l'esistenza è lotta continua, e che dappertutto dove c'è materia c'è battaglia, benchè il campo su cui si combatte sfugga, il più delle volte, completamente ai nostri sensi.

4. Noi non siamo mai in grado di seguire le mosse degli individui, pur tuttavia, possiamo dire, talvolta, l'esito della lotta, tal'altra sappiamo anche predire come volgeranno i casi, e fin designare le cause, che contribuiscono a produrre il risultato. — Ciò accade perchè, se alle azioni degli individui è concessa una grande libertà, se i loro movimenti sono complicatissimi, leggi relativamente semplici governano i risultati a cui possono giungere, collettivamente, le aggregazioni.

Prima di procedere allo studio di queste leggi, non è certamente fuor di luogo gettar uno sguardo sul mondo organico e sull'inorganico, per farci un giusto concetto della nostra ignoranza intorno alla struttura e alle proprietà delle ultime particelle di materia.

5. Incominciamo col considerare le cause che producono le malattie. — Soltanto da poco tempo abbiamo preso a sospettare che un gran numero di malattie tragga origine da germi organici. — Ora, pur ammettendo che ci apponiamo al vero, dobbiamo confessare che intorno a questi germi non sappiamo ancora nulla affatto. È cosa assai dubbia se si è mai riusciti a distinguerne qualcuno [1], mentre è certissimo che ignoriamo completamente le loro abitudini e le loro proprietà.

[1] Si dice che in un caso o due il microscopio li ingrandì abbastanza da renderli visibili.

Digitized by Google

Vogliono certi scrittori [1] che l'aria, che abitualmente respiriamo, sia assolutamente zeppa di germi, e che noi siamo assediati, da ogni parte, da eserciti innumerevoli di piccolissimi esseri organici. Secondo alcuni, essi sono in continua guerra, gli uni contro gli altri, e noi formiamo la preda dei vincitori. Comunque sia, noi siamo, ad ogni modo, strettamente circondati e, per così dire, a discrezione d'un mondo di creature, che non ci sono più note degli abitanti di Marte.

6. Eppure, anche in questo caso, mentre completa è la nostra ignoranza intorno ai singoli germi, non ignoriamo completamente alcune delle abitudini delle loro formidabili aggregazioni. — Così, sappiamo che il cholera è una malattia, che dipende, in grado eminente, dal sotto-suolo, e che bisogna porre speciale attenzione all'acqua che si beve, quando questo morbo infierisce. Ecco dunque una legge generale del cholera, legge della maggiore importanza, poichè non si possono studiare le particolari abitudini degli organismi, che producono la malattia.

Certo è che, se questi organismi si potessero vedere e studiare, si acquisterebbe ben presto una molto più estesa conoscenza delle loro abitudini, onde, forse, si troverebbe il modo di togliere il morbo e di impedirne il ritorno.

Così, sappiamo [grazie a Jenner] che la vaccinazione impedisce le stragi del vaiuolo; ma, in questo caso, non istiamo gran fatto meglio di schiavi, che hanno trovato come mutilarsi, per rendersi di nessun interesse al nemico vittorioso.

7. Ma, se intorno agli infimi organismi abbiamo così

[1] *V. Dr. Angus Smith: « Sull'Aria e la Pioggia. »*

Digitized by Google

poche cognizioni, ancor meno ne abbiamo, se è possibile, intorno alle molecole di materia inorganica; ed è soltanto in questi ultimi tempi che i principali scienziati sono giunti a mettere fuori di dubbio la stessa esistenza di esse.

Per comprendere che cosa s'intende per molecola inorganica, sminuzziamo un po' di sabbia, dividiamo i minuzzoli in parti più piccole, e queste suddividiamo in parti più piccole ancora. Continuando questa operazione, non arriveremo mai, nel fatto, ad ottenere parti di estrema picciolezza: possiamo però supporre, mentalmente, che la suddivisione sia continuamente spinta, così da ottenere frammenti sempre più piccoli. Così, arriveremo, finalmente, alla molecola di selce, ossia alla più piccola entità, che mantiene tutte le proprietà della selce o ossido di silicio, e che un'ulteriore suddivisione non potrebbe che scomporre in ossigeno e silicio, suoi elementi chimici.

Per verità, forti ragioni c'inducono a credere che non potremo mai spingere la suddivisione delle selce, o d'altra sostanza, fino ad ottenerne la molecola, e che, col disaggregare un corpo, non potremo mai ottenere altro che frammenti simili al corpo, solamente di minor volume, e composti ciascuno di un gran numero di molecole.

8. Una goccia d'acqua, non altrimenti che un grano di sabbia, risulta dalla aggregazione di un immenso numero di molecole, tenute insieme dalla forza di coesione — forza che nella selce è più valida che nell'acqua, ma che, nondimeno, agisce in entrambe. Il celebre fisico Guglielmo Thomson è giunto, recentemente, a conchiudere, relativamente al volume delle molecole dell'acqua, che, se il volume di una goccia d'acqua aumentasse fino ad eguagliare quello della terra, la quale ha 8000 miglia di diametro, e

Digitized by Google

le dimensioni delle molecole crescessero in proporzione, ciascuna molecola apparirebbe alquanto più grande di una palla da fucile, alquanto più piccola di una palla da giuoco.

9. Qualunque sia il valore di questa conclusione, essa vale a darci un' idea della estrema picciolezza delle molecole, e a renderne certi che non arriveremo mai a costruire microscopii abbastanza potenti per renderle visibili. Perciò, dobbiamo a mezzi d' osservazione indiretti e di natura assai complicata tutte quelle cognizioni che abbiamo intorno al volume, alla forma e alle proprietà di questi corpi.

Si vede così come poco o nulla ci debbano essere note la forma delle molecole, il loro volume, le forze che le sollecitano. Così, le più grandi masse che si trovano nell' universo hanno di comune colle più piccole la proprietà di sfuggire allo scrutinio diretto dei sensi: le une ci sfuggono per l'enorme distanza, le altre per la estrema picciolezza.

10. Le molecole, lungi dall' essere in quiete, si movono incessantemente e con grande energia. Vi è, infatti, una continua battaglia, un costante cozzo di questi piccoli corpi, che si mútilano e si reintégrano sempre finchè, per avventura, non giunge qualche colpo abbastanza violento a separare i due o più atomi semplici, che li costituiscono. Allora incomincia una nuova condizione di cose.

Ma un atomo semplice è veramente un essere immortale, e gode del privilegio di rimanere inalterato e di andare sostanzialmente illeso fra i potenti colpi, che può ricevere; probabilmente esso è in uno stato di attività incessante, e cangia senza posa di forma, rimanendo pur sempre lo stesso.

Digitized by Google

11. Basta un po' di riflessione a convincerci che questa incessante attività è una barriera, che si aggiunge alle altre, per impedire che acquistiamo un'intima conoscenza delle molecole e degli atomi; poichè, ancorchè noi riuscissimo a distinguerli, essi non resterebbero in un luogo abbastanza lungamente perchè potessimo studiarli.

È vero che vi sono artifizii mediante i quali si riesce a rendere visibile un disegno tracciato sopra un disco colorato, in rapidissima rotazione; infatti, si può illuminarlo con una scintilla elettrica, e si può supporre che il disco resti in quiete, durante il brevissimo tempo, che dura la scintilla. Ma non possiamo dire lo stesso per riguardo agli atomi e alle molecole: poichè, ancorchè potessimo distinguerli ed illuminarli con una scintilla elettrica, essi vibrerebbero probabilmente un gran numero di volte nel brevissimo tempo che dura la scintilla.

In somma, i limiti, che lo spazio e il tempo pongono ai nostri sensi, escludono, di concerto, la possibilità che arriviamo un giorno a conoscere direttamente questi piccolissimi corpi, che sono pure i primi materiali di cui è fabbricato l'intero universo.

L'azione e la reazione sono eguali ed opposte.

12. Ma, mentre un velo impenetrabile ci impedisce di distinguere, nelle lotte degli atomi, i movimenti degli individui, non ignoriamo completamente le leggi, che determinano i risultati definitivi di tutti questi moti, presi collettivamente.

Digitized by Google

Azione e reazione in una boccia di pesci dorati.

Supponiamo, per esempio, che una boccia di vetro, contenente un buon numero di pesci dorati, sia collocata sopra una tavola, e sostenuta da ruote girevolissime, cosi che possa muoverla, in un senso o nell'altro, l'urto più leggiero. — I pesci si movono continuamente, di moto irregolare, e sarebbe certamente ben audace colui che si mettesse a predire i movimenti di ciascheduno. — Siamo però certi di una cosa: ed è che, qualunque possa essere il moto de'suoi viventi abitatori, la boccia resterà sempre in quiete, sulle sue ruote.

La boccia resterebbe sempre in quiete, ancor che fosse collocata sopra una superficie di ghiaccio, e sostenuta da ruote di estrema sensibilità. Senza dubbio, noi ci meraviglieremmo assai, se vedessimo la boccia scorrere da sè, da un punto all'altro della tavola, o della foglia di ghiaccio, in conseguenza dei movimenti interni de'suoi abitanti, poichè abbiamo per sicuro che, qualunque possano essere i movimenti di questi *individui*, essa non può muoversi *come un tutto*. In tal sistema quindi, come in ogni sistema lasciato a sè, valide forze intestine possono agire fra le diverse parti, ma *azioni e reazioni sono eguali ed opposte*, per modo che, mentre le parti, siano visibili o invisibili, sono in uno stato di violenta agitazione, il sistema come un tutto rimane in quiete.

Azione e reazione nella scarica di un fucile.

13. Si passa affatto naturalmente dal caso ora considerato a quello della scarica di un fucile. Nel caso prece-

Digitized by Google

dente abbiamo considerato come un sistema la boccia e i pesci; nel seguente, dobbiamo risguardare il fucile, la polvere e la palla come formanti pure un sistema.

Supponiamo che una scintilla determini l'esplosione. Questa scintilla è un agente esterno, ma, se riflettiamo un poco, vediamo che il suo ufficio si limita, in questo caso, a suscitare le forze interne, che esistono nel fucile caricato e a metterle in azione, e che l'esplosione si deve a queste forze interne.

L'effetto più saliente dell'esplosione è la violenta proiezione della palla, la quale, per la velocità che acquista, può indi muoversi per quasi un miglio, prima di fermarsi; a prima vista, vi parrà che, in questo caso, la legge dell'eguaglianza dell'azione e della reazione sia assolutamente violata, perchè le forze insidenti nella carica hanno lanciato, in una direzione, solamente una parte del sistema, ciò è la palla, con enorme velocità.

14. Ma un poco ancora di riflessione metterà in evidenza un altro fenomeno, oltre la proiezione della palla. Tutti i cacciatori sanno che, quando un'arme da fuoco si scarica, avviene un urto od un rinculamento dell'arme stessa, contro la spalla del tiratore, il quale più volontieri ne farebbe senza: ma noi, ben contenti, lo salutiamo, come soluzione della nostra difficoltà. Per parlar chiaro, nell'istante che la palla è lanciata innanzi, il fucile (quando sia libero di moversi) è lanciato indietro. Per fissare le idee, supponiamo che il fucile pesi 100 once e che la palla pesi un'oncia e sia lanciata innanzi con una velocità iniziale di 1000 piedi al secondo: si può allora asserire, giusta la legge della azione e reazione, che il fucile viene spinto indietro con una velocità di 10 piedi al secondo; per modo che il prodotto

Digitized by Google

della massa del fucile per la sua velocità *di rinculamento* è eguale al prodotto della massa della palla per la sua velocità *di proiezione*. L'un prodotto misura l'azione in un verso, l'altro misura la reazione nel verso opposto, e così vediamo che nel caso del fucile, come in quello del vaso di pesci, l'azione e la reazione sono eguali ed opposte.

Azione e reazione nella caduta di una pietra.

15. Possiamo estendere la legge a casi in cui la reazione non si percepisce affatto. Così, se io getto una pietra in un precipizio, pare che ogni movimento si faccia in una direzione, mentre, propriamente, esso è prodotto dalla reciproca attrazione della pietra e della terra. Si move anche la terra? — Noi non possiamo accorgerci del suo movimento, ma abbiamo diritto a credere che sale realmente incontro alla pietra, pur descrivendo uno spazio affatto impercettibile; così che la legge della azione e reazione è osservata in questo caso, come in quello della scarica del fucile, — con questa sola differenza che qui due oggetti si vengono incontro, e là si separano, l'uno dall'altro. Siccome, tuttavia, la terra ha una massa che è grandissima, a paragone di quella d'una pietra, la sua velocità di ascesa dev'essere estremamente piccola, perchè si possa ottenere, moltiplicandola per la massa, quel prodotto, che si ha, moltiplicando la massa della pietra per la sua velocità di caduta.

16. Così, non ostante la nostra ignoranza intorno agli atomi e alle molecole, siamo giunti alla conoscenza di questa legge generale, che governa le azioni delle forze interne. Le forze interne sono sempre esercitate reciproca-

Digitized by Google

mente: se A attrae o respinge B, B alla sua volta attrae o respinge A. Questo è un bell'esempio, che mostra come possiamo arrivare alla conoscenza dei risultati generali, quantunque ignoriamo ciò che risguarda gli individui.

Ma, giunti a questa legge della eguaglianza dell'azione e della reazione, conosciamo noi tutto ciò che ci può interessar di sapere? abbiamo una cognizione completa di tutto ciò che succede nei casi che abbiamo considerato? — per esempio — in quello della scarica del fucile? Consideriamo alquanto ancora quest'ultimo caso.

Considerazioni sulla scarica del fucile.

17. Il prodotto della massa per la velocità si chiama *quantità di moto* o *momento:* quindi, poichè il prodotto della massa del fucile per la sua velocità di rinculamento è eguale a quello della massa della palla per la sua velocità di proiezione, ci crediamo autorizzati a dire che l'esplosione genera in due opposte direzioni eguali quantità di moto, — così che sta, anche in questo caso, la legge della azione e reazione. — Ciò nondimeno si presenta a chichessia che, *da un certo punto di vista*, il movimento della palla è una cosa ben diversa da quello del fucile, poichè scaricare la palla nell'aria, e ricevere nella spalla l'urto del fucile, è ben altra cosa che ricevere il colpo della palla, lasciando che il fucile indietreggi nell'aria. E se alcuno sostenesse che l'urto del fucile e quello della palla sono assolutamente la stessa cosa, voi potreste proporgli di sostenere la sua asserzione coll'assoggettarsi a farne l'esperienza, sicurissimi ch'egli si rifiuterebbe. — È impossibile che i due urti siano eguali, perchè, in

Digitized by Google

tal caso una schiera di soldati, impegnati in un combattimento, soffrirebbe perdite assai maggiori che non il nemico contro cui dirige il fuoco, poichè i tiratori ricevono un urto dal fucile ad ogni fucilata, mentre il nemico soffre gli effetti di una piccola quantità di palle, soltanto.

La palla possiede energia.

18. Donde risulta questa gran differenza fra gli effetti dei due urti? Noi vediamo assai nettamente questa ragguardevole differenza e non ci resta che di rivestire di un carattere scientifico la nostra gretta impressione.

Ciò che la palla possiede, a distinzione del fucile, è, manifestamente, il potere di superare una resistenza. Essa, a distinzione del fucile, può penetrare il legno più resistente, l'acqua, il corpo umano (ahimè! troppo spesso se ne fa l'esperienza!), e questa facoltà di penetrare è carattere proprio dei corpi che si movono con grande velocità.

19. Diamo il nome di *energia* a questo potere, che ha la palla, di superare gli ostacoli é di eseguire un lavoro. Naturalmente noi adoperiamo il vocabolo lavoro, senza occuparci del carattere morale dell'opera che si compie; e non ci facciamo scrupolo di mettere insieme le quantità di lavoro, che si fanno nel praticare un foro in una tavola di legno e in una persona.

20. Un corpo in rapido movimento, tal qual'è una palla da fucile, possiede adunque energia, e si richiede ben poco studio, per vedere che questa energia dev'essere *proporzionale al peso, od alla massa, del corpo.* Infatti, una palla pesante due once, movendosi colla velocità di 1000 piedi al secondo, farà lo stesso effetto che farebbero, movendosi

Digitized by Google

colla stessa velocità, due palle pesanti un'oncia l'una; ma, evidentemente, le due palle, movendosi nel modo stesso, possiedono, insieme, una energia doppia di quella, che possiede, separatamente, ciascuna; quindi, la velocità rimanendo sempre la stessa, l'energia è proporzionale al peso.

21. Ma, d'altra parte, l'energia non è, semplicemente, proporzionale alla velocità: altrimenti, il fucile e la palla acquisterebbero, dopo l'esplosione, un'eguale energia; poichè il fucile guadagnerebbe, per la maggiore sua massa, quello che perde, per la minore velocità. Quindi, l'energia di un corpo in movimento cresce colla velocità, con una ragione più rapida della semplice proporzionalità, per modo che, se la velocità si raddoppia, l'energia risulta più che raddoppiata. In qual ragione l'energia cresce colla velocità? Dobbiamo ora rispondere a questa domanda, e per far ciò, non abbiamo che da richiamare fatti comunissimi, che tutti i giorni possiamo osservare, e verificare.

22. Tutti gli artiglieri sanno che, se una palla ha una velocità doppia di quella di un'altra, il suo poter di penetrare, o energia, è circa quattro volte maggiore di quello di quest'altra, così che può perforare un numero di tavole di legno quattro volte maggiore o poco meno; in altre parole, essi vi possono dire, usando il linguaggio della matematica, che l'energia varia in ragione dei quadrati delle velocità.

Definizione del lavoro.

23. Ora, innanzi di proceder oltre, dobbiamo dire ai nostri lettori come si misura il lavoro, in un modo pura-

Digitized by Google

ramente scientifico. Noi abbiamo definito l'energia come la facoltà di eseguire un lavoro, e l'idea generale, che ognuno può avere, di ciò che s'intende per lavoro non può essere abbastanza precisa per questo libro. Come dobbiamo, dunque, misurare il lavoro? Per buona avventura, non dobbiamo affaticarci molto, per trovare un modo di eseguire praticamente questa misura. Infatti, una forza, che è sempre a nostra disposizione, ci dà il modo di eseguirla con grande esattezza: e questa forza è la gravità. Ora, quando si tratta di misure, si deve innanzi tutto fissar l'unità. Noi diciamo questa spranga è lunga tanti pollici, questa strada è lunga tante miglia; qui prendiamo per unità il pollice, il miglio. Nel modo istesso, parliamo di tanti secondi, minuti, ore, giorni, anni, scegliendo quella unità di tempo o di durata, che più conviene al nostro caso. Dobbiamo dunque stabilire l'unità di lavoro; ma, per ciò fare, è necessario che scegliamo prima l'unità di peso e quella di lunghezza; prendiamo per unità di peso il *chilogramma*, per unità di lunghezza il *metro*.

Ora, se innalziamo un chilogramma ad un metro di altezza, esercitiamo uno sforzo, mentre risentiamo una resistenza da parte della gravità. In altre parole, col sollevare questo peso, spendiamo energia ed eseguiamo un lavoro.

Consideriamo l'energia che si spende, ossia, il lavoro che si eseguisce in questa operazione, come unità, e chiamiamola *chilogrammetro*.

24. È poi chiaro che, se innalziamo il chilogramma a due metri d'altezza, facciamo allora due unità di lavoro; ne facciamo tre, se lo innalziamo a tre metri, e così via.

Ed è pur chiaro che, coll'innalzare due chilogrammi

Digitized by Google

all'altezza di un metro, facciamo ancora due unità di lavoro; ne facciamo quattro, col sollevarli a due metri, e va dicendo.

Possiamo dedurre da questi esempii la regola seguente: *Moltiplichiamo il peso che si solleva (in chilogrammi) per l'altezza (in metri) alla quale si solleva; il prodotto misura il lavoro che si fa (in chilogrammetri).*

Relazione tra la velocità e l'energia.

25. Posto, così, un fondamento numerico al nostro edifizio, procediamo, ora, coll'investigare le relazioni, che passano fra la velocità e l'energia. Ma, prima, diciamo qualche parola sulla velocità. Questo è uno dei pochi casi in cui la quotidiana esperienza, lungi dall'esserne d'inciampo, ci sarà di aiuto nel farci un concetto scientifico.

Ci cadono sempre sotto gli occhi esempii di corpi che si movono con velocità variabile. Così, un convoglio arriva in prossimità di una stazione, e comincia a rallentare la corsa; quando noi prendiamo ad osservarlo, esso si move colla velocità di quaranta miglia all'ora; dopo un minuto, si move colla velocità di soltanto venti miglia; in capo ad un altro minuto, è fermo. Questo convoglio non ha mai mantenuto la stessa velocità per due consecutivi istanti, eppure possiamo dire, con tutto rigore, che, ad un certo punto, si moveva, per esempio, in ragione di trenta miglia all'ora. Con ciò intendiamo dire che, se avesse continuato a muoversi per un'ora, colla velocità che aveva in quel punto, avrebbe percorso trenta miglia. Noi sappiamo che, nel fatto, non ha mantenuto questa velocità neppure

Digitized by Google

per due secondi, ma ciò non importa, non c'impedisce menomamente di comprendere la questione, tanto siamo abituati ad osservare esempii di velocità variabile.

26. Ora, immaginiamo che un chilogramma sia lanciato in alto, verticalmente, con una certa velocità iniziale: quella, ad esempio, di 9,8 metri al secondo. La gravità solleciterà il grave a cadere, e diminuirà, continuamente, la sua velocità d'ascesa, nel modo stesso che il freno, incessantemente, diminuiva la velocità del convoglio.

Pure facilmente si vede che cosa si intende, col dire che il corpo ascende colla velocità iniziale di 9,8 metri; s'intende che, se la gravità non lo sollecitasse a cadere, l'aria non gli opponesse resistenza e non si permettesse, in somma, a nessun agente esterno di natura qualsiasi di esercitarvi influenza, esso continuerebbe a muoversi, percorrendo 9,8 metri per secondo.

Chi ha studiato le leggi del moto sa che un corpo, lanciato verticalmente in alto, colla velocità di 9,8 metri al secondo, si ferma, giunto a 4,9 metri di altezza. Quindi, se il corpo pesa un chilogramma, mercè tal velocità iniziale, solleverà sè stesso a 4, 9 metri d'altezza, contro la forza di gravità, e, in altre parole, compirà 4,9 unità di lavoro. Possiamo immaginare che, nell'atto ch'esso raggiunge il termine della sua ascensione, e sta appunto per rivolgersi, invece d'esser lasciato ricadere a terra, sia preso in mano, e posto sulla sommità d'una casa. — Concludiamo che un chilogramma, nell'istante che si lancia colla velocità di 9,8 metri al secondo, possiede una energia eguale a 4,9, in quanto che può sollevarsi all'altezza di 4,9 metri.

27. Ma, poniamo che il corpo sia lanciato verticalmente

Digitized by Google

in alto colla velocità di 19, 6 metri al secondo: chi ha cognizioni di dinamica sa che allora esso raggiungerà un'altezza, non doppia solamente, ma quadrupla di quella di prima: in altre parole, allora, si solleverà all'altezza di 19, 6 metri.

Evidentemente, giusta il nostro sistema di misura, il chilogramma riceve, in questo caso, una energia quattro volte maggiore di quella, che riceveva nel primo caso, e fa quindi un lavoro quattro volte maggiore: vediamo così che l'energia si quadruplica, quando la velocità si raddoppia.

Si potrebbe dimostrare, nello stesso modo, che il corpo, lanciato colla velocità di 29, 4 metri al secondo, tripla della prima, raggiungerebbe l'altezza di 44, 1 metri, così che, quando la velocità si triplica, l'energia si rende nove volte maggiore.

28. Vediamo così che, se misuriamo l'energia d'un corpo in movimento, sia collo spessore delle tavole, cui può trapassare, che coll'altezza, che può raggiungere, vincendo la gravità, arriviamo sempre allo stesso risultato. *Troviamo che l'energia è proporzionale ai quadrati delle velocità.* Questa conclusione può essere formolata nel seguente modo:

Sia v la velocità iniziale con cui si lancia in alto un corpo pesante un chilogramma: allora, la sua energia in chilogrammetri è $\frac{v^2}{19.6}$. Di necessità, se il corpo che si lancia peserà due chilogrammi, la sua energia sarà doppia, sarà tripla, se peserà tre chilogrammi, e così via; così che, finalmente, se dinotiamo con p il peso del corpo, in chilogrammi, avremo la sua energia, in chilogrammetri,

Digitized by Google

$= \frac{p.\ v^2}{19.6}$. Per provare la verità di questa formola, non abbiamo che da applicarla ai casi considerati negli articoli 26, 27.

29. Gioverà qualche esempio ad illustrare la formola ora stabilita. — Si domandi qual'è l'energia di un corpo pesante cinque chilogrammi, lanciato colla velocità di venti metri al secondo. Qui $p=5$ $v=20$: l'energia sarà quindi di chilogrammetri $\frac{5 \times 20^2}{19,\ 6} = \frac{2000}{19,\ 6} = 102,\ 04$ all'incirca.

Così, si domandi a quale altezza arriverà, prima di fermarsi, il corpo considerato nel caso precedente. — Sapiamo che la sua energia è 102, 04, il suo peso 5. Dividendo 102, 04 per 5, otteniamo 20, 408, che è, manifestamente, l'altezza alla quale deve sollevarsi questo peso di cinque chilogrammi, per compire un lavoro di 102, 04 chilogrammetri.

30. In tutto ciò che abbiamo detto, non abbiamo mai tenuto calcolo nè della resistenza, nè della spinta dell'atmosfera: in fatti, abbiamo sempre supposto d'eseguire gli esperimenti nel vuoto, o, se non nel vuoto, con masse di ragguardevole densità, come sarebbero masse di piombo, le quali risentono assai poco l'influenza di queste azioni.

Però non dobbiamo tacere che, se lanciassimo, colle velocità prese ad esempio, un foglio di carta o una piuma, questi corpi non giungerebbero, di certo, ad altezze prossimamente eguali alle summenzionate, ma si fermerebbero molto prima, a cagione della grande resistenza, che risentono da parte dell'aria, poichè presentano una estesa superficie, con una piccola massa.

D'altra parte, se sperimentassimo con una vescica ampia e leggera, piena di idrogeno, questa prenderebbe a salire

Digitized by Google

da sè, e noi non dovremmo eseguir certamente alcun lavoro per portarla ad uno o più metri d'altezza: realmente, essa farebbe uno sforzo per sollevarci, anzi che richiedere, per ascendere, un nostro sforzo.

In somma, in ciò che abbiamo detto fin qui non abbiamo considerato che l'azione della gravità, senza tenere calcolo delle azioni del mezzo ambiente, di cui, per adesso, dobbiamo far astrazione.

31. Così, dobbiamo far osservare che l'energia di un corpo in movimento è affatto indipendente dalla direzione in cui si move, e non dipende che dalla velocità. — Noi abbiamo sempre supposto che il corpo fosse lanciato in alto con certa velocità, ma, se fosse lanciato orizzontalmente, colla stessa velocità, avrebbe precisamente la stessa energia. Una palla da cannone scagliata in alto può spendere la propria energia o nell'innalzare sè stessa, o nel trapassare una serie di tavole di legno. Ora, la stessa palla, scagliata orizzontalmente, colla stessa velocità, trapasserà lo stesso numero di tavole di legno.

La direzione del moto non ha dunque nessuna influenza, e noi abbiamo preso ad esempio il movimento verticale, per ciò solo che, in questo caso, la forza di gravità si oppone validamente e costantemente al moto del corpo, e così ci dà il modo di ottenere una esatta misura del lavoro, che il corpo eseguisce, nel sollevarsi, contro l'azione di questa forza.

32. Del rimanente, la gravità non è l'unica forza che vi sia: noi potremmo impiegare quell'altra forza che meglio confacesse al nostro scopo, e prendere come misura dell'energia d'un corpo in movimento la quantità di cui il corpo potrebbe inflettere una potente molla, la resistenza

Digitized by Google

che potrebbe opporre alla attrazione di un efficace magnete. Ove si trattasse di una forza costante, l'energia sarebbe sempre misurata dallo spazio descritto contro l'azione della forza: così appunto, nel caso della gravità, misuravamo l'energia coll'altezza alla quale il corpo si innalzava, vincendo il proprio peso.

33. Giova ben ricordarsi che, se tal forza fosse più potente della gravità, il corpo, per moversi contro di essa, per un certo spazio, dovrebbe spendere tanta energia, quanta dovrebbe spenderne, per muoversi lungo uno spazio maggiore contro la gravità. In somma, per fare un'esatta misura del lavoro, che un corpo eseguisce, dobbiamo tener calcolo e dell'efficacia della forza, che deve superare, e dello spazio che descrive, superando l'azione di questa forza.

Digitized by Google

CAPITOLO SECONDO.

ENERGIA MECCANICA E SUA TRASFORMAZIONE IN CALORE.

Energia di posizione — in una pietra situata in alto.

34. Nel capitolo precedente abbiamo spiegato che cosa s'intenda per energia, e come l'energia di un corpo in movimento dipenda dalla velocità: vediamo, ora, come questo potere di eseguire un lavoro, che abbiamo chiamato energia, possa essere posseduto da un corpo assolutamente in quiete. I nostri lettori si ricorderanno che, in un certo caso [art. 26], abbiamo supposto che un chilogramma, lanciato verticalmente in alto, fosse preso, quando raggiungeva il termine della sua ascensione, e collocato sulla sommità d'un edifizio. Qui esso resta, senza movimento, ma non senza il potere di eseguire un lavoro: in fatti, ben sapiamo che, se lo lasciassimo cadere a terra, esso urterebbe il suolo con velocità eguale a quella, che gli fu impressa, nell'atto che venne lanciato in alto, e quindi con eguale energia. Ora noi potremmo, — quando lo volessimo, — impiegare questa energia a configgere un palo, o utilizzarla in qualche altro modo.

Un corpo in posizione elevata non è dunque senza

Digitized by Google

energia, ma ne possiede di natura quieta, non dovuta per nulla a movimento. — A che dunque è dovuta? — ripetiamo — alla posizione, che il corpo occupa, stando sulla sommità dell'edifizio. — Infatti: per ciò che riguarda l'energia, nel modo stesso che un corpo in movimento è una cosa ben diversa da uno in quiete, sono due ben diverse cose un corpo situato sulla sommità d'un edifizio e uno che se ne trova al piede.

Un esempio schiarirà la questione. — Supponiamo che due uomini combattano fra loro, ciascuno lanciando pietre contro l'avversario; siano essi egualmente destri e robusti, — l'uno però occupi, col proprio mucchio di pietre, un'elevata posizione sulla sommità d'un'altura, l'altro, in vece, debba accontentarsi di rimanerne al piede. — In questa condizione di cose, voi potete subito dire quale dei due vincerà: — evidentemente, vincerà quello che si trova in alto, non già perchè sia più forte dell'altro, ma perchè ricava energia dalla posizione elevata, che occupa il suo mucchio di pietre. Vediamo così che vi è una specie di energia, che deriva dalla posizione, come ve ne ha una, che deriva dalla velocità; quindinnanzi chiameremo *energia di posizione* la prima, *energia di moto* la seconda.

Energia di posizione in una massa d'acqua posta in alto.

35. Per variare gli esempi, immaginiamo ora due mulini posti, ciascuno, in prossimità di un corpo d'acqua: l'uno però ad un livello inferiore a quello dell'acqua, l'altro ad un livello superiore. — Non fa bisogno di chiedere quale dei due potrà eseguire un lavoro, poichè, evidentemente, il corpo d'acqua non potrà essere di nessuna utilità al mulino, che gli si trova di sopra, mentre, al contrario, potrà mettere in movimento le ruote dell'altro, onde questo

Digitized by Google

potrà lavorare. Così, da una massa d'acqua situata in alto si può ricavare una grande quantità di lavoro, — lavoro reale, — poichè si può impiegarla a macinare, a trebbiare frumento, a segar legno, a tornirlo. — D'altra parte, non si può ricavare, assolutamente, nessun lavoro da una massa d'acqua, di cui si è di sopra.

Energia di posizione in un arco teso, in un orologio caricato.

36. In entrambi i casi precedenti, la gravità è la forza contro cui si eseguisce lavoro, e in virtù della quale la pietra e il corpo d'acqua, posti in alto, sono in posizione vantaggiosa, e possiedono la facoltà di eseguire un lavoro, quando si lascino liberi di cadere. Ma vi sono altre forze, in virtù delle quali un corpo può trovarsi in tal posizione, per cui sia capace di compiere un lavoro, nello stesso modo che la pietra o il corpo d'acqua, nei casi summenzionati.

Prendiamo, per esempio, la forza d'elasticità, e consideriamo ciò che accade in un arco. Quando l'arco è teso, la saetta si trova in posizione vantaggiosa, per rispetto alla forza elastica di esso, e possiede una energia di posizione. Nell'atto che l'arco si scarica, questa energia di posizione della saetta si converte in energia di moto: appunto come, nel caso in cui si lascia cadere una pietra dalla sommità d'un edifizio, l'energia di posizione, che la pietra possiede, si cangia in quella di moto attuale.

Nel modo stesso, un orologio caricato è in posizione vantaggiosa, per rispetto alla elasticità della molla motrice, e possiede una energia di posizione, che, col muo-

Digitized by Google

versi delle ruote, si trasforma lentamente in energia di moto.

Vantaggi derivanti dalla posizione.

37. Infatti, ad ogni genere di energia di posizione tocca la sorte di essere, in ultimo, convertita in energia di moto.

Si può dire che la prima rappresenta un capitale, ossia una somma di denaro, deposta sopra una banca: la seconda, in vece, si può paragonare ad una moneta, che si sta spendendo; e, nel modo stesso che, se si ha denaro sopra una banca, si può trarnelo, ogniqualvolta occorra, così, si può utilizzare, ove piaccia, l'energia di posizione.

Per vedere meglio il senso di questo paragone, confrontiamo due mulini, mossi, l'uno dall'acqua, e l'altro dal vento. Il primo può sempre macinare, poichè vi si può inviare la corrente d'acqua, quando più conviene; il secondo, al contrario, non può lavorare che fintanto che soffia il vento. Così, l'uno ha la piena indipendenza del ricco, l'altro tutte le obbligazioni del povero.

Spingendo alquanto più l'analogia, possiamo osservare che il grande capitalista e l'altolocato sono ossequiati, perchè hanno a loro disposizione una grande quantità d'energia; e sia il gentiluomo, che il principe, che il comandante per altro non sono potenti, che, perchè possiedono la facoltà d'impiegare le forze altrui. Quando il ricco paga l'operaio, affinchè lavori per lui, converte, realmente, parte della propria energia di posizione in energia attuale, non altrimenti che il mugnaio, nell'atto che lascia discen-

Digitized by Google

dere sul mulino parte della massa d'acqua annessa, allo scopo di ricavarne un lavoro.

Trasformazioni dell'energia visibile in un chilogramma lanciato in alto.

38. Così abbiamo cercato di mostrare che vi è un energia di riposo, dovuta alla posizione, come ve ne ha una viva, dovuta al movimento: ed ora veniamo a indagare i cangiamenti, che subisce l'energia di un grave, lanciato verticalmente in alto, durante l'ascensione. Il grave parte con una certa quantità di energia di moto, ma questa si converte, grado per grado, in quella di posizione, mentre esso s'innalza, finchè, quando tocca il punto più alto, la sua energia è interamente dovuta alla posizione.

Supponiamo, per esempio, che un chilogramma sia lanciato verticalmente in alto, colla velocità di 19, 6 metri al secondo: esso contiene allora, giusta la formola dell'articolo 28, 19, 6 unità di energia dovute alla sua velocità.

Esaminandolo al compiersi di un secondo, troveremo che il chilogramma tocca l'altezza di 14,7 metri, e che la sua velocità è di 9,8 metri. Questa velocità, per ciò che sappiamo dall'articolo 26, dinota 4, 9 unità d'energia attuale, mentre l'altezza raggiunta corrisponde ad un'energia di posizione eguale a 14, 7. Il chilogramma possiede adunque, in questo istante, 19, 6 unità d'energia totale, 14, 7 delle quali sono dovute alla posizione, e 4, 9 al movimento attuale.

Di nuovo esaminando il chilogramma, al compiersi d'un altro secondo, troveremo ch'esso, allora appunto, si riduce in quiete, per modo che la sua energia di moto è

Digitized by Google

zero; ma esso è riuscito ad innalzarsi all'altezza di 19, 6 metri, così che la sua energia di posizione è 19, 6.

Quindi, mentre il chilogramma s'innalza, non scomparisce energia, ma semplicemente si trasforma, grado per grado, l'energia d'una specie in quella d'un'altra. Il chilogramma parte con energia attuale, e questa va poi successivamente trasformandosi tutta in quella di posizione; che se, ne' diversi punti della sua ascensione, sommiamo insieme l'energia attuale del chilogramma con quella ch'esso deve alla sua posizione, troviamo che la somma delle due si mantiene sempre la stessa.

39. Quando il chilogramma discende, si ripetono precisamente gli stessi fatti, in ordine inverso. Il corpo prende a discendere con una certa quantità di energia di posizione, senza energia di movimento: mentre discende, l'energia di posizione diminuisce e cresce l'attuale, la somma delle due rimanendo intanto sempre la stessa: quando sta per urtare il suolo, la sua energia di posizione si è completamente trasformata in attuale: finalmente, incontra il suolo colla velocità, e quindi coll'energia, che possedeva, originariamente, quando fu lanciato in alto.

Il piano inclinato.

40. Così abbiamo considerato le trasmutazioni, che subisce l'energia in un chilogramma lanciato verticalmente in alto e poi lasciato cadere a terra; ed ora, possiamo variare le nostre ipotesi, col fare che il chilogramma s'innalzi verticalmente, ma discenda lungo un piano inclinato, senza incontrare attrito, per il che dobbiamo immaginare che il piano sia levigatissimo, e il corpo foggiato a mo' di

Digitized by Google

palla o di rullo. Tutti quelli che hanno studiato dinamica sanno che il chilogramma arriverà alla base del piano, con una velocità eguale a quella, che avrebbe acquistato, cadendo dalla stessa altezza, per la verticale: epperò, coll'introdurre siffatto piano inclinato levigatissimo, nè perdete nè guadagnate energia.

In primo luogo, non guadagnate energia: pensate, infatti, che cosa accadrebbe, se il chilogramma giungesse alla base del piano, con una velocità maggiore di quella che originariamente gli avete impressa, quando lo avete lanciato in alto. Sarebbe, evidentemente, cosa assai profittevole lanciare in alto il chilogramma verticalmente, per farlo poi discendere lungo un piano inclinato, poichè così voi ne potreste ricavare una energia maggiore di quella che vi spendereste, e fareste, assolutamente, un guadagno. Mediante opportune disposizioni, potreste allora convertire l'apparecchio in una macchina a movimento perpetuo, e andar accumulando una quantità illimitata d'energia. Ma, tutto ciò non è possibile.

D'altra parte, il piano inclinato, purchè non presenti nè scabrosità, nè sporgenze, non vi rapirà punto dell'energia del chilogramma, ma, tutta ve la renderà, una volta che sia stata raggiunta la base. Non importa che il piano abbia una lunghezza ed una forma piuttosto che un'altra, nè importa che sia retto, curvo o a spirale, poichè, — purchè sia levigato ed abbia la stessa altezza, — otterrete, in ogni caso, la stessa quantità d'energia, facendo cadere il chilogramma, dalla sommità alla base.

41. Ma, mentre l'energia rimane sempre la stessa, la durata della discesa varia colla lunghezza e colla forma del piano: poichè è chiaro che, a parità d'altezza, il chi-

Digitized by Google

logramma impiegherà a scendere, lungo un piano molto inclinato, un tempo maggiore di quello, che impiegherà a scendere, lungo un piano notevolmente eretto. In fatti, il piano molto inclinato, per generare una data velocità, dovrà impiegare un tempo maggiore di quello che dovrà impiegare il piano più eretto: ma entrambi avranno prodotto lo istesso risultato, per ciò che concerne l'energia, una volta che il chilogramma sarà arrivato alla base.

Funzione delle macchine.

42. I nostri lettori sono ora in grado d'incominciare a comprendere che l'energia non può essere creata, e che non possiamo in alcun modo indurre o costringere Madonna Natura a darci più di ciò che abbiamo diritto a pretendere. Perchè questo principio fondamentale più s'imprima nella mente nostra, consideriamo attentamente qualche congegno meccanico e vediamo come agisce, per riguardo alla energia.

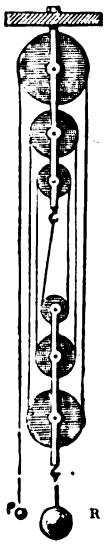


Fig. 1.

Incominciamo col considerare un sistema di puleggie parte *mobili* e parte *fisse*. Qui, abbiamo una potenza P sospesa ad una estremità di una fune, la quale passa sopra tutte le puleggie, e si attacca finalmente, per l'altra estremità, ad un uncino, annesso alla serie delle puleggie fisse, che occupa la parte superiore. Una resistenza R, — d'altra parte, — è sospesa, per un uncino, alla serie delle puleggie mobili, che occupa la parte inferiore, e si solleva con essa. Supponiamo che il peso R sia sostenuto da sei tratti di

Digitized by Google

fune, come rappresenta la figura, e faciamo astrazione del peso delle puleggie e dell'attrito della fune. Si sa, che perchè la macchina sia in equilibrio, R deve essere sei volte P, ciò che val quanto dire che, in siffatta macchina, una potenza eguale ad un chilogramma equilibra, o sostiene, una resistenza di sei chilogrammi. Ove si aumenti P di un peso pur piccolissimo, l'equilibrio non sussisterà più; P discenderà e, corrispondentemente, R prenderà a salire. In tal caso P, dopo che sarà disceso, poniamo, per sei metri, il suo peso essendo, per esempio, un chilogramma, avrà perduto sei unità di energia di posizione, poichè si troverà ad un livello sei metri al di sotto di quello a cui si trovava prima. Così, si sono spese sulla macchina sei unità d'energia. Ora, che cosa si ricava da questa spesa? Evidentemente se ne ricava l'innalzamento di R, e un meccanico vi potrebbe dimostrare che R, nel caso considerato, s'innalzerà di un metro.

Ma, R è sei chilogrammi, epperò, coll'innalzarsi di un metro, acquista sei unità di energia di posizione. Così, colla caduta di P, spendiamo sulla macchina sei unità di energia, e, coll'innalzamento di R, ne otteniamo una quantità equivalente, pur eguale a sei unità. Noi, veramente, non abbiamo nè perduto nè guadagnato energia, ma, soltanto, vi abbiamo dato una forma più conveniente per l'uso che ne vogliamo fare.

43. Per imprimere ancor più fortemente questa verità, consideriamo ora una macchina totalmente diversa dalla precedente, qual'è un torchio idraulico. Il suo modo d'agire si rileva dalla Fig. 2. —

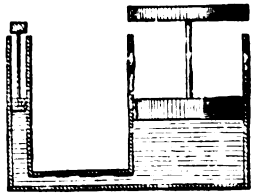


Fig. 2.

Digitized by Google

Qui abbiamo due cilindri, — uno molto capace, l'altro ristretto — comunicanti fra loro, pel fondo, mediante un tubo robusto. Ciascun cilindro è munito di un embolo a perfetta tenuta d'acqua, pieno d'acqua essendo lo spazio frapposto. Poichè i due cilindri comunicano l'uno coll'altro, e l'acqua è pressochè incompressibile, facilmente si vede che, collo spingere in basso un embolo, si farà ascendere l'altro. — Supponiamo che l'area dell'embolo più piccolo sia un centimetro quadrato [*] e quella del maggiore sia cento centimetri quadrati; — ed applichiamo all'embolo più piccolo un peso di dieci chilogrammi. Allora, si sa, dalle leggi dell'idrostatica, che ciascun centimetro quadrato dell'embolo maggiore sarà sospinto in alto, colla forza di dieci chilogrammi: per modo che tutto l'embolo si solleverà, colla forza di mille chilogrammi, ciò è a dire, potrà innalzare, sollevandosi, un peso di mille chilogrammi.

Qui, dunque, abbiamo una macchina, mediante la quale una pressione di dieci chilogrammi, esercitata sopra un piccolo embolo, comunica ad un embolo maggiore la facoltà di sollevarsi, colla forza di mille chilogrammi. Ma facilmente si vede che, mentre il piccolo embolo discende di un metro, il grande non si innalza che di un centimetro; infatti, poichè nell'apparecchio rimane sempre la stessa quantità d'acqua, se il livello dell'acqua si abbassa di un metro nel cilindro ristretto, nel cilindro più capace non deve innalzarsi che di un centimetro.

Osserviamo che cosa si guadagna con questa macchina. — La pressione di dieci chilogrammi, applicata al piccolo

[*] Cioè a dire eguale all'area di un quadrato avente il lato lungo un centimetro.

Digitized by Google

embolo, si fa discendere di un metro, e ciò rappresenta l'energia che si spende sulla macchina: in ricambio, si ottiene che un peso di mille chilogrammi s'innalzi d'un centimetro. Qui dunque, come nel caso delle puleggie, non si fa nè perdita nè guadagno d'energia, — fatta astrazione dell'attrito, — e tanta se ne spende. altrettanta se ne ottiene. Altro non si fa che dare all'energia una forma più conveniente: — ciò che si guadagna in forza si perde in spazio; ma, lo spazio, ossia la rapidità del movimento, si sacrifica di buon animo, a prezzo di ottenere le enormi pressioni, che si possono avere, mediante il torchio idraulico.

Principio delle velocità virtuali.

44. Questi esempi hanno senza dubbio preparato i nostri lettori a comprendere qual'è la vera funzione delle macchine. Il primo che definì chiaramente la funzione delle macchine fu Galileo, il quale vide che, se mediante una macchina, non importa di qual natura, si solleva, con un piccolo peso, un peso maggiore: moltiplicando il piccolo peso per lo spazio, che percorre, in discesa, si ha lo stesso prodotto, che si ottiene, moltiplicando il peso maggiore per lo spazio, che percorre in salita.

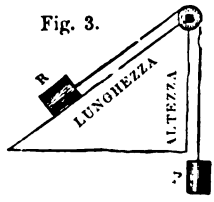
Questo principio, conosciuto sotto il nome di principio delle velocità virtuali, ci mette in grado di comprendere tosto la nostra posizione. — Noi vediamo così che le macchine non rappresentano una fabbrica, dove si crea l'energia, ma piuttosto un mercato, dove, portando una certa quantità di energia, di certa specie, si può scambiarla con una quantità equivalente d'energia, di un'altra specie, per noi più conveniente; che, se vi si porta nulla, con nulla sicu-

Digitized by Google

ramente se ne ritorna. In somma, le macchine non creano, solamente trasformano: e questo principio ci dà il modo di conchiudere quali sono le condizioni d'equilibrio di qualunque congegno, senza bisogno di ulteriori cognizioni di meccanica.

Si domandi, ad esempio, di trovare le condizioni di equilibrio di una leva, un braccio della quale sia lungo tre voltre l'altro. Qui, è evidente che, se coll'aggiunta di un piccolo peso, faremo discendere il braccio più lungo, coll'annessa potenza, mentre il più breve salirà colla resistenza, il primo discenderà di tre pollici, per ogni pollice che percorrerà l'altro ascendendo: da ciò concludiamo che un chilogramma, applicato al braccio più lungo, equilibrerà tre chilogrammi applicati al più breve. Questa conclusione si può enunciare col dire che, perchè la nostra leva sia in equilibrio, bisogna che la potenza stia alla resistenza nel rapporto di uno a tre.

Fig. 3.



45. Così, consideriamo il piano inclinato rappresentato dalla Fig. 3. — Qui abbiamo un piano levigato, sul quale si appoggia una resistenza R, sostenuta per mezzo di una potenza P, nel modo che rappresenta la figura. Ciò posto, se romperemo l' equilibrio, coll'aggiungere un piccolo peso a P, faremo salire R dalla base alla sommità. Ma, ciò avvenendo, è chiaro che P cade lungo la verticale per uno spazio eguale alla *lunghezza* del piano, mentre, d'altra parte, R, scorrendo lungo il piano, solamente s'innalza di una quantità che, contata verticalmente, è uguale all'*altezza*. Quindi, perchè il principio delle velocità virtuali sia rispettato, il prodotto di R per lo spazio, che per-

Digitized by Google

corre in ascesa, dev'essere eguale al prodotto di P per lo spazio, che percorre, cadendo: cioè, dev'essere

P ✗ lunghezza del piano = R ✗ altezza del piano

$$\text{ossia } \frac{P}{R} = \frac{\text{Altezza}}{\text{Lunghezza}}$$

Che cosa fa l' attrito.

46. I due esempii, che abbiamo dati, sono più che sufficienti a mettere i nostri lettori in grado di vedere qual'è, propriamente, la funzione delle macchine, ed ora, senza dubbio, sono convinti che una macchina non può rendere una quantità d'energia maggiore di quella che vi si spende; non è, per altro, egualmente chiaro che una macchina non ne può rendere una quantità minore; — ed infatti, è ben noto che ciò accade costantemente. — Noi abbiamo sempre supposto che nelle nostre macchine non si producesse attrito: ma l'attrito, per verità, si produce in ogni macchina e, in conseguenza di ciò, la rendita utile si trova sempre più o meno diminuita. Così, non possiamo attestare la conservazione dell'energia, finchè non vediamo chiaramente che cosa in realtà fa l'attrito. — Siamo abbastanza certi che l'energia non può essere creata, ma non siamo certi egualmente che non può essere distrutta: infatti, le apparenze c' indurrebbero a credere che si distrugga: ecco qual' è attualmente la nostra posizione. Ora, se è vera la teoria della conservazione dell'energia, — cioè a dire, se l'energia è, ad ogni modo, indistruttibile, — dovremo trovare che l'attrito non distrugge l'energia, ma solamente ne cangia la forma in una meno apparente, e forse meno utile.

Digitized by Google

47. Dobbiamo quindi disporci a indagare ciò che fa realmente l'attrito, e a ritrovare l'energia, sotto una forma ben diversa da quella che presenta in un corpo, che visibilmente si move, o in una massa d'acqua posta in alto. Possiamo aggiungere all'attrito la percussione, come altro processo, mediante il quale l'energia apparentemente si distrugge: e dove abbiamo considerato il caso di un chilogramma, lanciato verticalmente in alto, [art. 39] dimostrando ch'esso finirà per giungere a terra, con energia eguale a quella che possedeva nell'atto ch'era lanciato in alto, possiamo continuare alquanto l'esperimento, e domandare che cosa avviene di questa sua energia, dopo che esso ha urtato il suolo, e si è ridotto in quiete. Variando la domanda, possiamo chiedere che cosa avviene dell'energia, che il colpo del fabbro comunica al martello, dopo che questo ha battuto sull'incudine: che cosa dell'energia della palla da cannone, dopo che essa ha colpito la mira: che cosa finalmente, dell'energia del convoglio ferroviario, dopo che l'attrito del freno ne ha estinto il movimento. In tutti questi casi, sembra, a prima vista, che la percussione, o l'attrito, distruggano l'energia visibile; ma, prima di decidersi intorno a questa apparente distruzione, importa di cercare se, nell'atto che l'energia visibile apparentemente si distrugge, non comparisce qualche cos'altro. Poichè, finalmente, l'energia potrebb'essere qualche cosa di simile a quei maghi delle leggende orientali, i quali avevano il potere di trasformarsi e di assumere tutte le forme, ma, — per quanto lo cercassero, — non potevano scomparire completamente.

Digitized by Google

Quando si distrugge movimento, apparisce calore.

48. Ora, in risposta alla questione che abbiamo fatto, si può francamente asserire che, ogniqualvolta l'energia visibile si distrugge apparentemente, in conseguenza di percussione o d'attrito, apparisce qualchecosa d'altro, e questo qualchecosa è *calore*. Così, si può riscaldare fortemente un pezzo di piombo, posto sopra un incudine, percotendolo, ripetutamente, con un pesante martello. — La collisione della selce coll'acciaio svolge calore, e una palla da cannone animata da grande velocità, urtando contro un bersaglio di ferro, può riscaldarsi tanto, da diventare rovente. Per quanto, poi, all'attrito, tutti sanno come, nelle notti oscure, si vedano faville uscire dal freno, che sta estinguendo il movimento di un convoglio ferroviario, e tutti sanno, eziandio, che gli assi delle ruote dei carrozzoni possono diventare pericolosamente caldi, se non si ungono di grasso. — Lo stesso scolaretto vi sa dire che suole stropicciare un bottone metallico contro il banco, per poi applicarlo alla mano del vicino, e che ha trovato il bottone caldo in modo insopportabile, quando altri gli fece questo scherzo.

Il calore è una specie di movimento.

49. Per lungo tempo questa apparizione di calore, mediante la percussione e l'attrito, fu riguardata come inesplicabile, poichè si credeva che il calore fosse una specie di materia, e così non si riusciva a comprendere donde potesse provenire in tanta quantità. I sostenitori dell'ipo-

Digitized by Google

tesi materiale arrischiarono, com'era naturale, la supposizione che questo calore sgorgasse dai corpi posti a conflitto, inquanto che la percussione e l'attrito, rispettivamente, ne spremessero e ne strofinassero fuori il *calorico*, — così chiamavano essi questa sostanza immaginaria, che sarebbe stata la causa dei fenomeni calorifici. Molti, tuttavia, non considerarono questa supposizione come una spiegazione, prima ancora che Davy ne dimostrasse incontestabilmente l' inattendibilità, sulla fine del secolo scorso.

50. Le esperienze di Davy consistettero nello stropicciare, l'uno contro l'altro, due pezzi di ghiaccio, finchè si videro, entrambi, fondersi, quasi interamente; e in tali condizioni furono eseguite queste esperienze, da mostrare che il calore, che si produce in questo caso, non può essere cavato dai corpi posti a conflitto.

51. Fermiamoci a considerare in quale alternativa ci pone questa esperienza. — Se stiamo per l'ipotesi che il calore sia una sostanza, dobbiamo necessariamente ammettere che, in questo caso, questa sostanza è creata dallo strofinamento, poichè non si può ammettere che esca dai corpi strofinati. — Tutto, in vece, si spiega semplicemente, ove vogliamo considerare il calore come una specie di movimento; poichè, siccome nello strofinamento è scomparsa energia di moto visibile, possiamo supporre ch'essa si sia trasformata in una specie di movimento molecolare, che noi chiamiamo calore; — e Davy venne a questa conclusione.

52. Nello stesso tempo circa, un altro fisico si occupava di simili studi. — Rumford, assistendo al trapanamento di un cannone, nell'arsenale di Monaco, era fortemente col-

Digitized by Google

pito dalla enorme quantità di calore, che si svolgeva in questa operazione. La sorgente di calore gli parve assolutamente inesauribile, per il che, non volendo risguardare tale svolgimento di calore come la creazione di una sostanza, si sentì indotto ad attribuirlo al movimento, nello stesso modo che Davy.

53. Ammesso dunque che il calore è una specie di movimento; dobbiamo ora veder di comprendere qual sorta di movimento è, e come differisce dall'ordinario movimento visibile. Però, immaginiamo che un carrozzone ferroviario, pieno di viaggiatori, si trasporti con grande velocità, mentre coloro, che vi si trovano, vi stanno quietamente: poichè, se tutti rapidamente si spostano, tutti si spostano colla stessa velocità e nella stessa direzione. Supponiamo, ora, che il convoglio incontri subitamente un ostacolo: ne segue un disastro: e cessa, tutto ad un tratto, il dolce riposo dei passaggeri.

Pur supponendo che il carrozzone non sia fracassato, e che non restino uccisi quelli che vi si trovano, questi, nell'istante del cozzo, entrano ad ogni modo in uno stato di eccitazione: quelli che volgono la faccia alla locomotiva sono istantaneamente sbalzati contro quelli che hanno di fronte, i quali, senza dubbio, di tutta forza, li respingono, cercando, ciascuno, di salvare sè stesso, nella confusione generale. Or bene, non abbiamo che da sostituire particelle a persone, per ottenere un'idea di ciò che accade, in un corpo, quando la percussione è convertita in calore. Secondo il nostro modo di vedere, gli atomi, in questo atto, egualmente si riurtano: A nel modo stesso si avventa contro B, — e B, con pari violenza, respinge A — onde, la stessa contesa, la confusione, l'eccitamento, — con questa

Digitized by Google

sola differenza che intanto si riscaldano particelle, in vece di persone.

54. Dobbiamo confessare che la prova di questo modo di vedere, che abbiamo potuto dare, è una prova indiretta; infatti, abbiamo spiegato, nel nostro primo capitolo, come siamo nella impossibilità di distinguere le singole particelle, e di spiarne i movimenti; per conseguenza, non possiamo appoggiare che con prove indirette l'asserzione che il calore consiste di tali movimenti. Ci mancano i mezzi, per vedere il calore consistere di un movimento, ma il ragionamento ci rende sicuri della nostra opinione.

Nella questione ora trattata, dobbiamo ammettere o che il calore è movimento delle particelle, o che, quando la percussione e l'attrito si convertono in calore, si crea una specie di materia — il *calorico:* perchè, se il calore non è una specie di movimento, dev'essere, necessariamente, una sorta di materia. Ora, noi preferiamo considerare il calore come una specie di movimento, piuttosto che supporre la creazione di una sostanza.

55. Tuttavia si potrà desiderare di avere qualche argomento da opporre a chi preferisse ammettere la creazione del calorico. A chi fosse di questa opinione potremmo dire che innumerevoli esperienze hanno provato che, col riscaldare un corpo, non se ne aumenta sensibilmente il peso, per il che il calorico dovrebb'essere ad ogni modo una sostanza non soggetta alla gravità. — Possiamo asserire che il ferro, quando brucia nel gas ossigeno, si combina con esso, perchè si trova che il peso del prodotto, che si ottiene, eccede quello del ferro adoperato — precisamente — della stessa quantità, di cui si trova diminuito il peso del gas. Al contrario, non v'ha niente di simile, per provare

Digitized by Google

che, durante la combustione, il ferro si è combinato con una sostanza, chiamata calorico: e ciò potrebbe bastare per indurci a considerare il calore come una specie di movimento, piuttosto che come una sorta di materia.

Il calore è un movimento vibratorio.

56. Supporremo dunque che i nostri lettori siano convinti del nostro modo di vedere. — È appena necessario di aggiungere che il calore dev'essere una specie di movimento vibratorio, poichè nulla è più chiaro che *un corpo caldo non è in movimento come un tutto*, e che, posato sopra una tavola, non si trasporterà da sè, da un'estremità all'altra.

I matematici esprimono questo stato di cose, col dire che il centro di gravità del corpo rimane in quiete, benchè le particelle si trovino in uno stato di violenta agitazione; e poichè, pei nostri fini, possiamo considerare il corpo come concentrato nel proprio centro di gravità, possiamo dire, in tal caso, che il corpo è in quiete.

57. Qui, prima di procedere oltre, prendiamo un esempio da quel ramo della fisica che tratta del suono. — Supponiamo che un uomo sia collocato sopra un piatto di una bilancia, accuratamente equilibrata, e che una goccia d'acqua penetri nel suo orecchio; egli diverrà, per conseguenza, più pesante, e la bilancia, ove sia sufficientemente sensibile, rivelerà l'aumento di peso. — Ma, supponiamo che nell'orecchio del nostro uomo penetri un suono, oppure un rumore: egli potrà ben dire che alcunchè vi è penetrato, ma che ciò non è materia, — il peso non aumenterà punto in conseguenza, e la bilancia si manterrà in equili-

Digitized by Google

brio. Ora, un uomo nell'orecchio del quale penetra un suono può paragonarsi ad un corpo, che riceve calore; quindi un corpo sonoro ed uno che diffonde calore si possono, da molti punti di vista, paragonare fra loro, e si può supporre che le particelle del secondo si movano di un movimento vibratorio, nel modo stesso le particelle del primo.

Dovremo estenderci più innanzi [art. 162] su questa analogia; frattanto, supporremo che i nostri lettori la percepiscano.

Equivalente meccanico del calore.

58. Così siamo venuti alla conclusione che, quando un grave, del peso per esempio d'un chilogramma, urta il suolo, la sua energia visibile si trasforma in calore; ed ora, — poichè abbiamo stabilito che esiste questa relazione fra le due forme di energia, — ci resta di trovare come la quantità del riscaldamento dipende dall'altezza, donde cade il corpo. — Però, supponiamo che un chilogramma d'acqua sia lasciato cadere dall'altezza di 848 metri, e che noi possiamo conservarne raccolte le parti, e mantenervi tutto il calore, che vi si svolge, in conseguenza dell'urto. Ben si può immaginare che il nostro chilogramma, — compiendo la sua discesa in due stadii, — cada, in primo luogo, da un'altezza di 424 metri, sopra una piattaforma, in conseguenza di che si riscalda, e che, di qui, la massa riscaldata, sia lasciata cadere, per altri 424 metri. È chiaro che l'acqua, dopo d'aver urtato il suolo, presenterà un riscaldamento doppio di quello che presentava, quando aveva urtato solamente la piattaforma; in altre parole, il riscaldamento sarà proporzionale all'altezza, donde il corpo cade,

Digitized by Google

ciò che val quanto dire che sarà proporzionale alla energia attuale, posseduta dal corpo, prima che l'urto la trasformasse in calore. Così, — nello stesso modo che l'energia attuale, che acquista un corpo, cadendo, — l'effetto calorifico, ossia l'energia molecolare, in cui questa si trasforma, è proporzionale all'altezza, donde cade il corpo. Stabilito questo punto, vogliamo ora determinare da quanti metri deve cadere un chilogramma d'acqua, per riscaldarsi d'un grado centigrado.

59. Siamo debitori di una precisa determinazione di questo importante rapporto al Dr. Joule di Manchester, il quale ha forse fatto più d'ogn'altro, per stabilire sopra solide basi la scienza dell'energia. Joule fece numerosi esperimenti, allo scopo di trovare l'esatta relazione, che esiste fra l'energia meccanica e il calore, ciò è a dire l'equivalente meccanico del calore: in alcuni de' più importanti si giovò dell'attrito, che si produce fra una massa liquida ed un solido costretto a moversi in essa.

60. Questi esperimenti furono eseguiti nel seguente modo. — Un certo peso determinato era attaccato ad una puleggia,

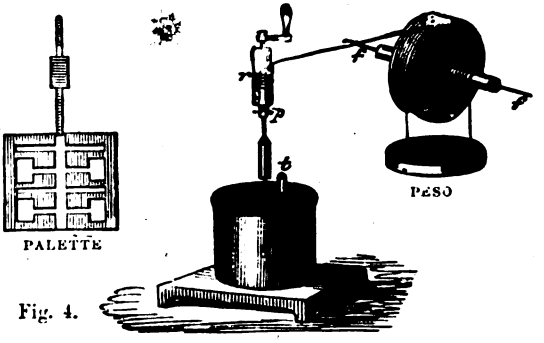


Fig. 4.

nel modo che indica la figura. — Il peso tendeva natural-

Digitized by Google

mente a cadere, e quindi a far rotare la puleggia. — L'asse di questa s'appoggiava, invece che a due cuscinetti fissi, ai punti d'incrociamento delle periferie di quattro rotelle mobili; (vedi fig.) con che si diminuivano di molto gli attriti prodotti dal suo movimento. — Una fune passava per la gola della puleggia, e s'avvolgeva ad un albero *r*: così, quando, al discendere del peso, la puleggia prendeva a girare, l'albero *r* entrava in rapida rotazione. Ora, il movimento di *r* era trasmesso nel recipiente chiuso B, dove si attaccava ad *r* un sistema di palette, di cui diamo uno schizzo nella figura; e, quindi, al moversi di *r*, le palette si movevano anch'esse. Vi erano, in tutto, otto serie di queste palette, le quali giravano fra quattro lamine fisse. Così, se si riempiva il recipiente con un liquido, le lamine fisse e le palette agivano di concerto per metterlo in violenta agitazione, poichè le prime impedivano che fosse sospinto dalle seconde, nel senso della rotazione.

Così disposte le cose, si lasciava discendere il peso per un certo spazio, che si misurava accuratamente: così, le palette venivano messe in moto, e l'energia del corpo discendente s'impiegava a sommovere, e quindi a riscaldare, una certa quantità d'acqua, contenuta nel recipiente B. Il peso, così caduto, si poteva poi nuovamente sollevare, senza movere le palette, levando un piuolo *p*, e togliendo la comunicazione dell'albero colla puleggia: per tal modo si potevano accumulare gli effetti di parecchie cadute, fin chè si otteneva un riscaldamento abbastanza notevole per poter essere misurato, con tutta esattezza, mediante un termometro. — Dobbiamo finalmente notare che, non solamente si poneva ogni cura per diminuire, più che fosse possibile, gli attriti degli assi, ma che questi attriti si mi-

Digitized by Google

suravano, con gran diligenza, per far le debite correzioni; in somma, si prendeva ogni precauzione, per avere dall'esperienza esatti risultamenti.

61. Altre esperienze furono eseguite da Joule, in alcune delle quali egli faceva rotare un disco di ghisa, mantenendolo costantemente compresso contro un disco simile fisso, tutto l'apparecchio essendo immerso in un recipiente di ghisa, pieno di mercurio. Da tutti questi esperimenti, Joule conchiuse che la quantità di calore, che si svolge, per effetto dell'attrito, — ove si misuri diligentemente, impedendone la dispersione, — si trova sempre proporzionale alla quantità di lavoro che si compie. — Egli determinò poi questa proporzionalità, col trovare quante unità di lavoro, in chilogrammetri, sono necessarie, per innalzare di 1° C. la temperatura di un chilogramma d'acqua. — Dalle ultime e più accurate esperienze risultò che, per produrre questo riscaldamento, si richiedono 424 chilogrammetri; e quindi possiamo conchiudere che, se si lascerà cadere un chilogramma d'acqua, per 424 metri, e se ne estinguerà poi subitaneamente il movimento, si produrrà una quantità di calore sufficiente per innalzarne la temperatura di 1° C, e così via, in proporzione.

62. Ora, prendendo il chilogrammetro come unità di lavoro, e la quantità di calore necessaria ad innalzare la temperatura di un chilogramma d'acqua di 1° C. come unità di calore, la proporzione trovata si può enunciare col dire che *una unità di calore è equivalente a* 424 *unità di lavoro.*

Questo numero di chilogrammetri si chiama ordinariamente *equivalente meccanico del calore,* e si dinota, nei trattati scientifici, colla lettera J, iniziale del nome di Joule.

Digitized by Google

63. Così abbiamo determinato l'esatta relazione, che esiste fra l'energia meccanica ed il calore; prima di passare ad altre prove della gran legge della conservazione, dobbiamo cercare di far conoscere ai nostri lettori altre varietà d'energia: perciocchè è necessario aver conoscenza dei varii travestimenti, che il nostro mago può assumere, innanzi pretendere di spiegare i principii, che governano le sue trasformazioni.

Digitized by Google

CAPITOLO TERZO.

FORZE ED ENERGIE DELLA NATURA.

LEGGE DELLA CONSERVAZIONE.

64. Nel precedente capitolo abbiamo fatto conoscere ai nostri lettori due varietà d'energia, l'una visibile, l'altra invisibile o molecolare; dobbiamo ora investigare l'intero campo delle scienze fisiche, per trovarne altre varietà. Innanzi tutto bisogna mettersi bene in mente che ogni varietà d'energia è dell'una o dell'altra di due specie, derivando o dalla *posizione*, o dal *movimento attuale:* e qui giova osservare che la distinzione delle due forme sta, nel caso delle energie molecolari, nel modo stesso che nel caso dell'energia visibile. Ora, un'energia di posizione suppone un corpo in posizione vantaggiosa, per rispetto a qualche forza: per conseguenza, possiamo, a ragione, incominciare la nostra ricerca, coll'investigare le varie forze della natura.

Della Gravitazione.

65. La più generale, e fors'anche la più importante, di queste forze è la *gravitazione*, la quale agisce secondo

Digitized by Google

una legge, che si può enunciare così: *Ogni particella dell'universo attrae tutte le altre con una forza, che varia in ragione diretta delle masse delle particelle che si attraggono, in ragione inversa dai quadrati delle distanze.* — Una breve spiegazione schiarirà la cosa.

Supponiamo che una particella, — o un sistema di particelle, — di massa 1, si trovi ad una distanza da un'altra particella, — o sistema di particelle, — di massa pure eguale a 1. Essi si attrarranno reciprocamente: — consideriamo come pure eguale a 1 l'intensità della loro mutua attrazione.

Supponiamo ora che, alla distanza di prima, si trovino, da una parte, un sistema di particelle eguale ai precedenti, di massa eguale ad 1, dall'altra, due di tali sistemi, quali, presenteranno insieme una massa 2. È chiaro che il sistema doppio attrarrà l'altro, con una forza eguale a 2. Possiamo immaginare affrontate due coppie di sistemi, la distanza rimanendo sempre la stessa; allora è chiaro che avremo una forza quadrupla, poichè ciascuna unità dell'una coppia attrarrà, con forza 1, ciascuna unità dell'altra. Nel modo stesso, se la massa d'un sistema fosse 2, e la massa d'un altro 3, la forza d'attrazione sarebbe 6; infatti dinotando, con A_1 A_2 i componenti del primo, con A_3 A_4 A_5 quelli del secondo, possiamo dire che A_1 ed A_2 attraggono, ciascuno, A_3 A_4 A_5 con una forza eguale a 3, epperò la coppia A_1 A_2 attrae la terna A_3 A_4 A_5 con forza 6.

Ora, le masse del nostro sistema primitivo restino inalterate, ma se ne duplichi la distanza: con ciò, la forza d'attrazione si riduce ad $\frac{1}{4}$; triplicando la distanza, essa si riduce ad $\frac{1}{9}$, e così via.

Digitized by Google

66. La gravitazione si può definire come una forza di poca intensità, capace di agire in distanza, o al meno di operare, come se agisse in distanza. — Essa si estende alla massa dell'intera terra, producendo alla superficie, quella forza che ci è cosi famigliare; la presenza di una grande massa di materia, quale sarebbe una montagna, non modifica, in modo apprezzabile, il peso d'un corpo. — È la gravitazione della terra, — diminuita, s'intende, dalla distanza — che agisce sulla luna, 240000 miglia lontano, e quella del sole influenza similmente la terra e tutti gli altri corpi del nostro sistema.

Dell'Elasticità.

67. L'elasticità, la quale agisce assai diversamente dalla gravità, è pure una forza che, come quest'ultima, spiegano gli aggregati visibili di materia: cosi, quando s'inflette un arco, le sue condizioni si modificano visibilmente, ed esso reagisce, come un tutto, all'inflessione, tendendo a riassumere la primitiva sua forma. Quindi, per inflettere un arco, si richiede energia, che visibilmente si spende, come nel caso in cui si vuol sollevare un peso da terra: però l'elasticità è una forza, che si deve ascrivere a quella categoria a cui appartiene la gravità. Non istaremo qui a considerare le varie maniere in cui può agire l'elasticità, a norma che il solido resiste a un modo di deformazione piuttosto che a un altro: è però chiaro che, in tutti i casi, prima d'ottenere una sensibile deformazione, si deve spendere lavoro sul corpo, affrontando e superando, per un certo spazio, l'elasticità.

Digitized by Google

Della Coesione.

68. Lasciamo ora le forze, che animano le masse visibili di materia, e passiamo a considerare quelle, che agiscono tra le minute particelle, donde queste masse sono composte. E qui dobbiamo dire ancora una parola sulle molecole, sugli atomi, e sulla distinzione, che ci sentiamo in grado di fare fra questi piccolissimi corpi, benchè non siamo mai riusciti a vedere nè gli uni gli altri.

Nel nostro primo capitolo [art. 7] abbiamo supposto di spingere la suddivisione di un granello di sabbia, fino ad ottenere la più piccola entità, che mantiene tutte le proprietà della selce: questa, abbiamo detto, è una *molecola*, e nulla di più piccolo può essere detto selce. Continuando la suddivisione, la molecola di selce si separa ne' suoi elementi chimici, ed otteniamo, da una banda, una particella d'ossigeno, dall'altra, una di silicio. — Così, perveniamo alla più piccola quantità di materia, che si può dire ossigeno, alla più piccola, che si può dire silicio: infatti, poichè risguardiamo queste due sostanze come elementari o semplici, non abbiamo nessuna ragione, per supporre che tali particelle siano divisibili in altre. Or bene, questi corpuscoli, che costituiscono la molecola di selce, si chiamano *atomi*, e così diciamo che la molecola di selce si divide in atomi di silicio e d'ossigeno. Forti argomenti, — ripetiamo — c'inducono a credere che questi atomi e queste molecole esistano realmente, ma non possiamo qui entrare a discuterli. — L'esistenza di queste particelle è una di quelle cose che i nostri lettori ci devono accordare.

Digitized by Google

69. Prendiamo ora due molecole di selce; quando sono pressochè a contatto, esse risentono l'una per l'altra una potente attrazione; ed è, propriamente, a cagione di ciò che si prova una difficoltà a rompere un frammento cristallino di quarzo o di cristallo di rocca. Ma, questa attrazione non agisce che quando le molecole sono abbastanza vicine per formare una struttura omogenea cristallina, e svanisce completamente, tosto che se ne aumenta alcun poco la distanza. Così, poca o nessuna attrazione si esercita fra i diversi granelli di un pugno di sabbia, ancorchè siano riuniti strettamente insieme. Nel modo stesso, l'integrità di una lastra di vetro si deve alla mutua attrazione delle sue molecole; — siano esse disgiunte in qualche senso da una lieve crepatura, e si riconoscerà tosto che questo piccolissimo aumento di distanza svigorisce la loro attrazione, poichè tutto l'edifizio cadrà allora in frammenti, pel minimo accidente. Bastino questi esempii a mostrare come l'attrazione molecolare, che riceve il nome di *coesione*, sia una forza, la quale agisce potentemente a certe piccolissime distanze, ma svanisce completamente, quando la distanza diventa percettibile. La coesione si esercita nei solidi colla massima potenza, è alquanto meno efficace nei liquidi, pressochè nulla nei gas. Le molecole dei gas si trovano infatti a tali distanze, che poca o nessuna attrazione risentono, l'una per l'altra: fatto che fu dimostrato dal Joule, di cui abbiamo ricordato il nome, nel capitolo precedente.

Della affinità chimica.

70. Consideriamo ora le forze, che agiscono fra gli atomi. Queste forze si possono dire caratterizzate dall'essere ancor

Digitized by Google

più efficaci di quelle che agiscono fra le molecole, mentre più prontamente di esse si svigoriscono, coll'aumentare della distanza. — Prendiamo, per esempio, carbonio e ossigeno, sostanze che facilmente si combinano insieme, per formare acido carbonico, quando si trovano in condizioni opportune. In questo caso, ogni atomo di carbonio si unisce con due atomi d'ossigeno, e si ha, per risultato, una sostanza, che differisce completamente dall'una e dall'altra di tali due. Eppure, nelle ordinarie circostanze, il carbonio, — ossia il carbone, il quale altro non è che carbonio impuro, — rimane inalterato, in presenza dell'ossigeno, che si trova nell'aria atmosferica; le due sostanze non manifestano nessuna tendenza a combinarsi insieme, poichè le loro particelle, che pur si direbbero a contatto immediato, non si trovano ancora abbastanza vicine, perchè la affinità chimica possa agire con vantaggio. — Questa prende ad operare, quando la vicinanza diventa sufficiente. Abbiamo, infatti, l'atto della combustione, a tutti famigliare, donde l'unione chimica del carbonio — o carbone — coll'ossigeno, l'acido carbonico essendone il risultato. — Qui dunque abbiamo una forza di grande potenza, che non opera che a piccole distanze, e che noi distinguiamo col nome di *affinità chimica*, poichè rappresenta la mutua attrazione degli atomi di corpi differenti, a distinzione della coesione, che dinota la mutua attrazione delle molecole dello stesso corpo.

71. Se si può prendere la gravitazione come tipo delle forze, che agiscono — o, almeno, che sembrano agire — a ragguardevole distanza, la coesione e l'affinità chimica si possono prendere come tipo di quelle, che, benchè potentissime, non agiscono, manifestamente, che a distanze impercettibili.

Digitized by Google

Basta riflettere alquanto, per vedere quanto sarebbe sconveniente che la gravitazione si svigorisse con grande prontezza, per l'aumentare della distanza; infatti, in questo caso, pur supponendo che dovesse tenere ancora il vincolo, che ci mantiene sulla terra, si rilascerebbe completamente quello che trattiene la luna intorno alla terra, e quello che la terra trattiene intorno al sole, ciò che avrebbe conseguenze tutt'altro che piacevoli. — Così, con un po' di riflessione, si può vedere come, d'altra parte, sarebbe sconveniente che l'affinità chimica agisse ad ogni distanza: se, per esempio, il carbone si combinasse coll'ossigeno, senza richiedere applicazione di calore, questo combustibile non potrebbe più essere tanto utile all'uomo quanto lo è nelle attuali condizioni, e così verrebbe ad essere inceppato il progresso dell'umana industria.

Considerazioni sulle forze molecolari ed atomiche.

72. Ora giova ripetere che dovremo trattare la coesione e l'affinità chimica precisamente come abbiamo trattato la gravità. — Così, appunto, come vi è una energia di posizione per rispetto a quest'ultima forza, vi è una specie di energia di posizione per rispetto alle altre due. — Incominciamo colla coesione.

73. Finora abbiamo sempre risguardato il calore come un particolare modo di movimento delle molecole dei corpi, senza mai occuparci delle sue relazioni colla forza, che sollecita queste molecole. — Ora, è ben noto, che i corpi, quando sono riscaldati, ordinariamente si dilatano, e per questa espansione, le molecole del corpo devono essere violentemente separate l'una dall'altra, contro la

Digitized by Google

forza di coesione. Si eseguisce un lavoro, contro questa forza, nel modo stesso che si eseguisce un lavoro, contro la gravità, quando si vuol sollevare da terra un chilogramma. Però, quando un corpo si riscalda, possiamo supporre che il calore, che gli si comunica, abbia un doppio officio da compiere, parte di esso spendendosi nell'aumentare la velocità delle molecole, e parte nel separarle in opposizione alla loro coesione. Non altrimenti, se io faccio girare, orizzontalmente, intorno a me, un peso, attaccato ad una estremità di un cordone di gomma elastica, tenendo questo per l'altra estremità, la mia energia s'impiega in due operazioni: in primo luogo, nel comunicare velocità al peso, e, in secondo luogo, nel tendere il cordone, di concerto colla forza centrifuga, che sollecita il peso. In questo caso si compie un lavoro, in opposizione alla elasticità del cordone di gomma, nel tempo stesso che se ne compie uno, nell'aumentare la velocità del peso.

Ora, qualche cosa di simile accade forse, quando si riscalda un corpo; poichè probabilmente il calore consiste di un moto verticale o circolare, in conseguenza del quale, le particelle risentono una sollecitazione, opposta alla coesione, che tende a disgiungerle l'una dall'altra. — Così, parte dell'energia, che implica il calore, si spende nell'aumentare il moto, e parte nel disgiungere le particelle. — Tutto induce a credere, però, che, nei casi ordinarii, questa energia s'impieghi, per la massima parte, ad aumentare la velocità del movimento molecolare.

74. Vi sono, tuttavia, certi casi in cui, probabilmente, il calore, che si comunica ad un corpo, s'impiega, per la massima parte, a compiere un lavoro, contro le forze molecolari.

Digitized by Google

Così, nella fusione di un solido, e nella vaporizzazione di un liquido, si spende una ragguardevole quantità di calore, che non si manifesta al termometro. — Per fondere, ad esempio, un chilogramma di ghiaccio, si richiede tanto calore quanto sarebbe bastevole, per innalzare la temperatura di un chilogramma d'acqua di 80° C.: eppure, l'acqua, che si ottiene in seguito alla fusione, non è punto più calda del ghiaccio. — Si esprime questo, col dire che il calor latente dell'acqua è 80. — Similmente, per trasformare completamente in vapore un chilogramma d'acqua a 100°, si richiede tanto calore quanto ce ne vorrebbe, per innalzarne la temperatura di 537° C. ossia, per innalzare di un grado quella di 537 chilogrammi; eppure il vapore, che si svolge, non è punto più caldo dell'acqua. — Si esprime questo fatto, col dire che il calor latente del vapor d'acqua è 537. Ora, in entrambi questi casi è, al meno, estremamente probabile che una grande quantità di calore s'impieghi nel compiere un lavoro, contro la coesione; e, particolarmente, nel caso in cui un liquido si converte in gas, sapiamo, che, le molecole vengono così separate l'una d'altra che poi non risentono più la minima attrazione, l'una per l'altra. Possiamo quindi concludere che, benchè il più delle volte la maggior parte del calore, che si comunica ad un corpo, si spenda nell'aumentare la velocità delle sue molecole, impiegandosene solamente una piccola parte a compiere lavoro contro la coesione, pure, quando si fonde un solido, o si vaporizza un liquido, una gran parte del calore richiesto, s'adopera probabilmente a vincere le forze molecolari. Ma, l'energia, che si spende, non si perde; poichè, quando il liquido si solidifica, o il vapore si condensa, essa di nuovo si trasforma in calore sensibile; nel

Digitized by Google

modo stesso, quando si lascia cadere una pietra dalla sommità d'un edifizio, la sua energia di posizione di nuovo si trasforma in energia attuale.

75. Basterà un esempio a dare ai nostri lettori un'idea della potenza delle forze molecolari. Se una spranga di ferro lavorato, a una temperatura inferiore di 10° C. a quella dell'ambiente, fosse fortemente tenuta pe' suoi due estremi, ravvicinerebbe gli estremi stessi, con uno sforzo di almeno una tonnellata, per ogni pollice quadrato di area. In certi casi, in cui le muraglie di un fabbricato minacciavano di rovesciarsi in fuori, si disposero attraverso al fabbricato parecchie aste di ferro, che si assicurarono ai muri, mentre si mantenevano ad una temperatura elevata; nel raffreddarsi, il ferro si contraeva, spiegando tanta forza da tirare i muri, l'uno contro l'altro.

76. Veniamo ora a considerare le forze atomiche, ossia le forze, che producono le combinazioni chimiche, e vediamo quale influenza risentono dal calore. — Abbiamo veduto che il calore separa le molecole dei corpi, vale a dire, che aumenta la distanza di due molecole contigue: ora, non possiamo assolutamente ammettere che intanto lasci le singole molecole inalterate.

Il calore, colla sua tendenza separatrice, non si limita ad aumentare le mutue distanze delle molecole, ma senza dubbio agisce anche per allontanare, l'una dall'altra, le varie parti di ciascheduna di esse. L'energia del calore s'adopera, infatti, a disgiungere gli atomi, in opposizione alla affinità chimica, nel modo stesso che, superando la coesione, s'adopera a disgiungere le molecole: cosichè è probabile che, ad una temperatura elevatissima, la massima parte dei composti chimici si decomporrebbe, ciò

Digitized by Google

che accade di molti, anche a temperature non molto elevate.

Così, fra l'ossigeno e l'argento si esercita un'attrazione così debole che ad una temperatura relativamente bassa l'ossido d'argento si decompone. — Similmente, il calcare o carbonato di calce, quando si assoggetta al calore di una fornace, si decompone in acido carbonico, che si svolge, e in calce viva, che rimane come residuo. Ora, per separare gli atomi eterogenei, superando la potente forza della affinità chimica, si eseguisce lavoro, come per disgiungere le molecole, superando la coesione, e per distaccare un corpo dalla terra, in opposizione alla gravità.

77. Altri agenti energici, nello stesso modo che il calore, possono produrre decomposizioni chimiche. — Per esempio, certi raggi del sole decompongono, nelle foglie delle piante, l'acido carbonico in carbonio ed ossigeno, e la loro energia s'impiega così nel disaggregare tali due sostanze, che potentemente si attraggono, superando l'affinità, che risentono, l'una per l'altra. Anche la corrente elettrica può decomporre certe sostanze, nella quale operazione si deve, necessariamente, spendere la sua energia.

Quindi, ogniqualvolta si disgiungono due atomi che potentemente si attraggono, si spende energia, come quando si separa una pietra dalla terra; ottenuta la separazione, si ha una specie di energia di posizione, simile affatto a quella che si ha in una massa d'acqua posta in alto, o in una pietra situata sulla sommità d'una casa.

78. Noi supponiamo tale separazione chimica, quando diciamo che il carbone è sorgente d'energia. Il carbone, o carbonio, risente una grande attrazione per l'ossigeno, e i due corpi si combinano, ogniqualvolta vi applichiamo ca-

Digitized by Google

lore. — L'ossigeno, perchè si trova nell'atmosfera, è ricchezza comune a tutti, epperò, se alcuno ha, di più, una certa quantità di carbone nelle proprie cantine, o in miniere, questi possiede una provvisione di energia di posizione, che si può impiegare più comodamente di quella che si trova in una massa d'acqua situato in alto; poichè quest'ultima, se può essere diretta dovunque si vuole, non si può portare, come l'altro, di luogo in luogo, con sè. Si vede così che il carbone non costituisce per sè la sorgente d'energia, ma che questa si deve al fatto che, d'altra parte, si ha ossigeno a disposizione, e si sa come avviare la combinazione delle due sostanze, ove occorra. Se non vi fosse ossigeno nell'aria, il carbone non avrebbe per sè stesso nessun valore.

Elettricità: sue proprietà.

79. I nostri lettori sanno dunque che cosa sono la coesione, che si esercita fra le molecole dello stesso corpo, e l'affinità chimica, che agisce fra gli atomi di corpi differenti. — L'eterogeneità è un elemento essenziale di quest'ultima forza, la quale non agisce che fra corpi in qualche modo differenti, l'uno dall'altro; — soddisfatta questa condizione, frequentemente, essa si mostra accompagnata da fenonemi straordinarii e di grande interesse.

Alludiamo a quella particolare manifestazione delle forze, che si esercitano fra corpi eterogenei, che noi chiamiamo *elettricità*; e, prima di procedere innanzi, non sarà fuor di luogo dare un breve schizzo del modo d'azione di questo misterioso, ma interessantissimo, agente.

80. La scienza dell'elettricità ebbe origine in tempi re-

Digitized by Google

motissimi, ma sul principio si riduceva a ben poche nozioni: progredì poco o nulla, per un paio di migliaia d'anni, finchè, finalmente, in poco più di un secolo, diventò quel colosso ch'essa è attualmente. Gli antichi Greci sapevano che l'ambra, strofinata colla seta, acquistava la proprietà di attrarre i corpi leggieri, e il Dr. Gilbert mostrò, circa trecento anni or sono, che molte altre sostanze, come il solfo, la ceralacca e il vetro, possedevano la stessa proprietà.

Col progredire della scienza, si venne a conoscere che certe sostanze possono propagare lontano tale influenza particolare, provocata che sia in un punto, mentre la stessa cosa non accade in altre: le prime furono chiamate *conduttori*, le seconde *non-conduttori*, od *isolatori*, della elettricità. Per rendere chiara questa distinzione, prendiamo un'asticina metallica, congiunta, per uno estremo, con una verghetta di vetro, e strofiniamo quest'ultima, con una stoffa di seta, prendendo cura di ben asciugare da ogni traccia d'umidità, e di riscaldare leggermente, così il metallo che il vetro. Dietro questa operazione, troveremo che il vetro ha acquistato la proprietà di attirare minuzzoli di carta e di midollo di sambuco: ma solamente là dove è stato strofinato, perchè la influenza particolare, ivi acquistata dal vetro, non ha potuto diffondersi su tutta la superficie.

Se, invece, tenendo lo strumento per la verghetta di vetro, strofineremo l'asticina metallica, potremo forse comunicarvi la stessa proprietà: ma, questa volta, essa si propagherà a tutta la superficie, non limitandosi ai punti strofinati. Concludiamo da ciò che il metallo è conduttore, mentre il vetro è non-conduttore, o isolatore, dell'elettricità.

81. Dobbiamo ora osservare che *vi sono due specie di*

Digitized by Google

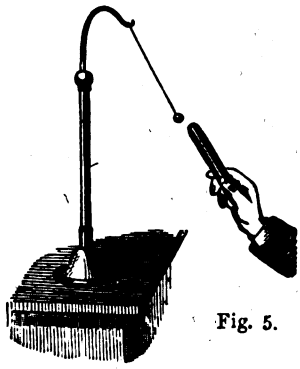


Fig. 5.

influenza elettrica. — Per provar questo fatto, eseguiamo l'esperimento seguente. Sospendiamo una pallina di midollo di sambuco, per un sottilissimo filo di seta [Fig. 5], quindi strofiniamo, con una stoffa di seta leggermente calda, una verghetta di vetro caldo e ben asciutto, e tocchiamo con esso la pallina; questa, subitone il contatto, ne sarà respinta. — Eccitiamo, allora, similmente, con un pezzo di flanella ben asciutta e calda, un bastoncino di ceralacca ben secca: accostato alla pallina di sambuco, l'attrarrà, sebbene la pallina stessa sia respinta, nelle sue presenti condizioni, dalla verghetta di vetro.

Così una pallina di midollo, toccata dal vetro eccitato, è da esso respinta, ma attratta dalla ceralacca eccitata.

Nel modo stesso, si può mostrare che una pallina di midollo, toccata dalla ceralacca eccitata, è da essa respinta, ma attratta dal vetro eccitato.

Ora, quando il vetro elettrizzato toccò la pallina, vi comunicò parte della propria elettricità, e dopo di ciò la pallina fu respinta: in altre parole, *i corpi carichi della stessa elettricità si respingono, l'un l'altro.*

Così, poichè la pallina, caricata dell'elettricità del vetro, fu attratta dalla ceralacca elettrizzata, concludiamo che *i corpi carichi di elettricità dissimili mutuamente si attraggono.*

L'elettricità che prende il vetro è talvolta chiamata *vitrea*, e quella che prende la ceralacca *resinosa*, ma, più

Digitized by Google

frequentemente, la prima si chiama *positiva*, e la seconda *negativa*. — S'intende che questi termini non implicano che le due influenze posseggano, rispettivamente, una natura positiva e negativa, ma che s'impiegano, solamente, per accennare l'apparente antagonismo delle due specie d'elettricità.

82. Una seconda circostanza, che merita d'essere ricordata, è questa che, *ogniqualvolta si produce una specie d'elettricità, altrettanta se ne produce dell'altra specie.* Così, nel caso in cui si elettrizza il vetro colla seta, mentre sul vetro si svolge elettricità positiva, una quantità precisamente eguale d'elettricità negativa si svolge sulla seta. E quando si strofina la ceralacca colla flanella, mentre sulla ceralacca si svolge elettricità negativa, altrettanta elettricità positiva si svolge sulla flanella.

83. Questi fatti hanno dato origine ad una teoria dell'elettricità, o, per lo meno, a un modo di considerare questo agente, che, se non è assolutamente corretto, pure sembra collegare i varii fenomeni. Secondo questa ipotesi, un corpo, nello stato naturale, contiene una certa quantità dell'una e dell'altra elettricità, combinate insieme; e, quando viene eccitato, si produce la loro separazione. Ammesso questo modo di vedere, i fenomeni, che abbiamo descritti, sono dovuti a questa separazione elettrica; e poichè le due elettricità hanno una grande affinità, l'una per l'altra, si richiede una spesa d'energia, per produrre questa separazione, come per separare un grave dalla terra.

84. Ora, è degno di menzione che *la separazione elettrica si produce, solamente, quando si strofinano insieme corpi eterogenei.* Così, se si strofina la flanella col vetro, si svolge elettricità, ma non se ne svolge punto, strofinandola con

Digitized by Google

vetro coperto di flanella. Nel modo stesso, non si hanno manifestazioni elettriche, strofinando stoffe di seta con ceralacca coperta di seta, e, in somma, strofinando insieme due porzioni della stessa sostanza.

D'altra parte, può bastare, talvolta, a produrre la separazione elettrica una piccola differenza, dipendente dal tessuto. Per esempio, se, diviso in due un nastro di seta, si strofinano le due parti, l'una coll'altra, nel senso della lunghezza del nastro, non si hanno manifestazioni elettriche: ma, se si strofinano, tenendole incrociate, l'una si elettrizza positivamente, l'altra negativamente.

L'eterogeneità è, dunque, un elemento della massima importanza per la produzione dell'elettricità, e ciò ne conduce a congetturare che *l'attrazione elettrica si debba risguardare come particolarmente collegata con quella forza che abbiamo chiamato affinità chimica.* — Ad ogni modo, così l'elettricità che l'affinità chimica si manifestano solamente, quando si pongono a conflitto corpi, in qualche maniera, dissimili, l'uno dall'altro.

85. Nella seguente lista diversi corpi sono ordinati, per rispetto alla elettricità, che manifestano, quando sono strofinati insieme: ciascuno elettrizzandosi positivamente, quando si strofina con quelli che lo seguono.

1. Pelle di gatto.
2. Flanella.
3. Avorio.
4. Vetro.
5. Seta.
6. Legno.
7. Gomma-lacca.
8. Resina.
9. Metalli.
10. Solfo.
11. Caoutchouc.
12. Gutta-percha.
13. Coton-polvere.

Digitized by Google

Così, se si strofina la resina colle pelle di gatto o colla flanella, essa si elettrizza negativamente, mentre queste si elettrizzano positivamente: il vetro, strofinato colla seta, si elettrizza positivamente, mentre la seta si elettrizza negativamente, e così va dicendo.

96. Non è nostra intenzione di dare una minuta descrizione della *macchina elettrica*. Diremo soltanto ch' essa consta di due parti; l'una serve a produrre l'elettricità, mediante lo strofinamento di un cuscinetto metallico, contro un disco di vetro: — l'altra, che consiste di un sistema di cilindri d'ottone di ragguardevole superficie, sostenuti da verghe di vetro, serve per raccogliere e per isolare l'elettricità, così generata. — Quest'ultima parte si dice il *conduttore* della macchina.

Induzione elettrica.

87. Ora, poniamo d'aver fatto agire una macchina siffatta, e d'aver accumulato una ragguardevole quantità di elettri-

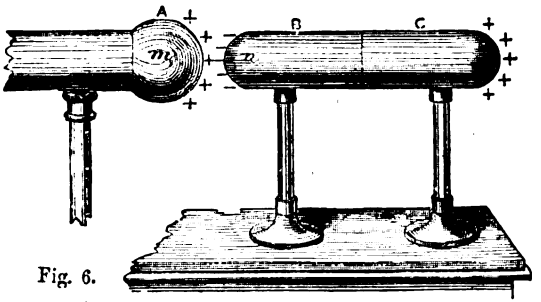


Fig. 6.

cità positiva sul suo conduttore A. — Prendiamo due cilindri cavi d'ottone, B e C, sostenuti da sostegni di vetro. Noi supponiamo che i due cilindri siano a contatto, l'uno

Digitized by Google

dell'altro, ma che si possano separare, là dove nella Fig. 6 è tracciata una linea. Accostiamo B e C, così riuniti, ad A. Da principio B e C non sono elettrizzati, ciò è a dire, le due elettricità, che contengono, non sono disgiunte, ma sono insieme combinate: or bene, osserviamo che cosa accade, quando vengono accostati ad A. L'elettricità positiva di A decompone le due elettricità di B e di C, attirando verso di sè la negativa, e respingendo la positiva più lontano che può. Così si viene ad avere quella distribuzione che rappresenta la figura. — Se, allora, separiamo C da B, otteniamo, sopra C, una certa quantità d'elettricità positiva, dovuta all'elettricità originariamente accumulata in A; — così, adoperiamo la carica originaria o il capitale elettrico di A, per ottenere elettricità positiva sopra C, senza diminuire, per questo, la carica originaria medesima.

Questa azione, che esercita in distanza la carica di A, per decomporre l'elettricità di B e di C, si chiama *induzione elettrica.*

88. Si potrebbe eseguire l'esperienza alquanto diversamente. — Possiamo lasciare uniti B e C, ed avvicinarli, a poco a poco, ad A. — Coll'avvicinarsi di B e C ad A, cresce continuamente la separazione elettrica, finchè, quando A e B non si trovano divisi che da un sottile strato d'aria, le opposte elettricità affrontate acquistano sufficiente tensione per lanciarsi insieme nell'aria e combinarsi, l'una coll'altra, dando origine ad una scintilla.

89. L'induzione si può impiegare vantaggiosamente, quando si vuole accumulare una grande quantità d'elettricità.

In questo caso, si fa uso, frequentemente, di uno strumento, al quale fu dato il nome di *bottiglia di Leyda.* — Esso consta di una bottiglia di vetro, rivestita interiormente

Digitized by Google

ed esteriormente di lamine di stagnola, che si dicono armature, nel modo che indica la Fig. 7. — Un asticina d'ottone, munita di un bottoncino alla sua estremità, è in comunicazione metallica coll'armatura interna, e si mantiene a posto, facendola passare per un turacciolo, che s' introduce nel collo della bottiglia. —

Fig. 7.

Così si hanno due lamine metalliche, non connesse in modo da potersi trasmettere conduttivamente l'elettricità. — Per caricare lo strumento, si pone l'armatura esterna in comunicazione col suolo, mediante una catenella, mentre si mantiene il bottone dell' asticina a contatto del conduttore d' una macchina elettrica, che vi comunica la propria elettricità positiva.

Così, si accumula elettricità positiva sull'armatura interna, che è congiunta col bottone; ed essa decompone l'elettricità dell'armatura esterna, ne respinge la positiva, che si disperde nel suolo, ed attira verso di sè la negativa. — Le due cariche elettriche si possono allora paragonare a due eserciti nemici, che si trovano a fronte, bramosi di accozzarsi, ma separati l'uno dall'altro da un ostacolo insormontabile; esse rimangono affacciate, ciascuna al suo posto; e intanto l'una e l'altra si rinforzano incessantemente, ripetendosi di continuo l'operazione. — Così si possono accumulare ragguardevoli quantità di elettricità contrarie sulle due armature della bottiglia, dove esse possono rimanere per lungo tempo; specialmente, se l'ambiente e il vetro della bottiglia sono perfettamente secchi. — Se poi, in qualche modo, si fa arco conduttivo fra le due armature, le due elettricità si lanciano l'una contro l'altra, e si com-

Digitized by Google

binano insieme, in forma di scintilla; che, se si fa arco della propria persona, si risente una scossa violenta.

90. Concludiamo da ciò, che, quando due corpi carichi di elettricità contrarie sono accostati, l'uno all'altro, le due elettricità si lanciano incontro, formando una corrente, che finisce in una scintilla. — Ora, questa scintilla implica una produzione di calore, poichè, realmente, essa non consiste d'altro che di minuzzoli di materia ad elevatissima temperatura. — Quindi la separazione elettrica si converte, innanzi tutto, in corrente, e questa si converte, alla sua volta, in calore. In questo caso, tuttavia, la corrente non dura che per un tempo brevissimo, poichè, probabilmente, la *scarica* della bottiglia di Leyda si compie in $\frac{1}{24000}$ di secondo.

Corrente Elettrica.

91. In altri casi si hanno correnti elettriche, le quali non sono così potenti come quelle che si ottengono nell'atto che si scarica una bottiglia di Leyda, ma durano più a lungo, essendo continue, invece che istantanee.

Si può vedere una differenza analoga nel caso dell'energia visibile. — L'esplosione di una mina può lanciare in alto, in un istante, un'enorme massa d'acqua: ora, la stessa quantità d'acqua può essere elevata, per mezzo di una fontana, in un maggior lasso di tempo, e molto più tranquillamente. — Una differenza di questo genere si trova fra i diversi modi in cui può compiersi la scarica elettrica; e poichè abbiamo parlato dalla ricombinazione violenta delle due elettricità, con esplosione e scintilla, veniamo ora a dire della *corrente voltaica*, eminentemente

Digitized by Google

tranquilla ed efficace, la quale è costituita da una continua serie di ricombinazioni.

92. Non daremo qui una completa trattazione della pila voltaica, considerandola dal lato storico e dal lato scientifico, ma diremo solamente quanto può bastare, per far comprendere ai nostri lettori come la pila è costituita e quali effetti produce. Però, ci limiteremo a descrivere la pila di Grove, che è forse il più efficace degli apparecchi, che servono a produrre correnti elettriche. — Qui abbiamo un certo numero di elementi, congiunti, l' uno coll' altro, nel modo che mostra la Fig. 8, la quale rappresenta una pila di tre elementi. — Ogni elemento si compone di due vasi, che si collocano l' uno nell'altro: l'esterno è di vetro o di maiolica ordinaria, mentre l'interno è di porcellana non verniciata, e quindi porosa. — Il vaso esterno è pieno d'acido solforico diluito, e nell'acido s'immerge una lastra di zinco amalgamato, vale a dire, di zinco la cui superficie fu spalmata di mercurio. — Il vaso interno, o poroso, contiene acido nitrico concentrato, e in questo pesca una lamina di platino, la quale è in comunicazione conduttiva, mediante una spranghetta, col zinco dell'elemento esterno susseguente, nel modo che mostra la figura. Entrambi i metalli debbono essere ben puliti là dove si connettono insieme, cioè, le vere superficie metalliche d' entrambi devono essere a contatto. Finalmente, due fili metallici, rivestiti, eccetto che alle estremità, di gutta-percha o di seta, sono congiunti metallicamente, l'uno col platino

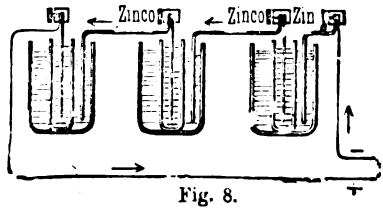


Fig. 8.

Digitized by Google

dell'elemento posto a destra, l'altro col zinco dell'elemento posto a sinistra. Le estremità libere di questi fili si chiamano *poli* della pila.

93. Supponiamo d'avere una pila, composta di un buon numero di elementi simili a quello che abbiamo descritto, collocata sopra sostegni di vetro, o, in qualche altro modo, separata dalla terra, così che sia isolata. — Assaggiando, con metodi opportuni, l'estremità del filo congiunto col platino dell'elemento posto a sinistra, si trova ch'essa è caricata di elettricità positiva, mentre l'estremità dell'altro filo si trova caricata di elettricità negativa.

94. Se, poi, si uniscono i poli, l'uno coll'altro, le due elettricità contrarie si lanciano incontro e si ricombinano, o, in altre parole, si ha una corrente elettrica; ma, non già per un solo istante; poichè, se si mantengono riuniti insieme i poli, una corrente seguita, per un certo tempo, a passare pei fili, e quindi per tutta la serie degli elementi.

La direzione della corrente si suppone tale per cui *l'elettricità positiva passi dal zinco al platino, attraverso al liquido, e quindi, attraverso al filo, dal platino dell'elemento a sinistra al zinco dell'elemento a destra.* — Così, si suppone che la corrente proceda nel senso indicato dalle freccie.

95. Si hanno dunque due fatti. — Prima che siano congiunti insieme gli estremi liberi dei fili, o poli, gli estremi stessi sono caricati di elettricità contrarie: una volta che sono congiunti, si produce una corrente elettrica permanente. Ora, questa corrente è un agente energico, e, in prova di ciò, veniamo a considerare le sue diverse proprietà, — i vari effetti, che se ne possono ottenere.

Digitized by Google

Effetti magnetici della corrente.

96. In primo luogo, *la corrente può far deviare l'ago magnetico.* — Un ago magnetico sia sospeso liberamente, e una corrente prenda a passare in un filo metallico, disposto a poca distanza da esso, nel senso della sua lunghezza: l'ago cambierà immediatamente di direzione. La nuova direzione non dipenderà che da quella della corrente, e l'ago tenderà a disporsi ad angoli retti col filo.

Per precisare la relazione, che passa tra la direzione della corrente e quella che prende l'ago magnetico, immaginiamo che il nostro corpo faccia parte del circuito elettrico, e che la corrente positiva lo traversi, entrando per la testa ed uscendo pei piedi. Supposto di più che la nostra faccia sia volta all'ago, il polo di questo, che si volge a nord, per effetto della corrente, devierà sempre verso la nostra destra. — La grandezza della deviazione impressa ad un ago magnetico può prendersi come misura dell'intensità della corrente, e l'apparecchio, che serve ad eseguire questa misura, si chiama *galvanometro.*

97. Di più, *la corrente,* non solo può imprimere una deviazione ad un ago magnetico, ma *può rendere magnetico il ferro dolce.* — Così, prendiamo un filo metallico, congiunto, per un estremo, con un polo di una pila; rivestiamolo di seta, per isolarlo, ed avvolgiamolo intorno ad un cilindro di ferro dolce, nel modo che mostra la Fig. 9. — Se, allora, congiungeremo l'estremo del filo rimasto

Fig. 9.

Digitized by Google

libero coll'altro polo della pila, in modo da chiudere il circuito, troveremo che il cilindro di ferro è diventato un potente magnete, e che, se vi sarà annessa un'áncora di ferro, come si vede nella figura, questa potrà sostenere un ragguardevole peso.

Effetto calorifico della corrente.

98. *La corrente elettrica ha la proprietà di riscaldare i fili metallici, per cui passa.* — Per provare questo fatto, congiungiamo i due poli di una pila, mediante un sottile filo di platino: in pochi secondi, si troverà che il filo si è riscaldato al punto d'arroventarsi. Per verità, la corrente riscalda anche i fili grossi, ma non tanto come i sottili: infatti, si può immaginare che essa scorra con forte impeto, attraverso la piccola sezione di questi ultimi, e che, in tal modo, passando, produca una grande quantità di calore.

Effetti chimici della corrente.

99. Oltre che può produrre gli effetti magnetici, e calorifici, *la corrente ha il potere di decomporre, in certe condizioni, le sostanze composte.* — Supponiamo, per esempio, che i poli di una pila, in vece d'essere congiunti insieme, siano introdotti in un vaso pieno d'acqua; questa comincerà tosto a decomporsi, e al polo positivo si svolgeranno bollicine d'ossigeno, mentre bollicine di idrogeno si presenteranno al negativo. — Se i due gas si raccoglieranno insieme, in un vaso, si troverà che la loro miscela è esplosiva; se si raccoglieranno separatamente, si ricono-

Digitized by Google

scerà, coi mezzi ordinarii, che l'uno è ossigeno e l'altro idrogeno.

Attrazioni e ripulsioni mutue delle correnti.

100. Così, abbiamo brevemente descritto gli effetti magnetici, calorifici e chimici delle correnti: ci resta di descrivere gli effetti, ch'esse producono, agendo l'una sull'altra.

Supponiamo, in primo luogo, d'avere due fili metallici paralleli l'uno all'altro, i quali trasmettano correnti, dirette nel medesimo senso; questi fili, ove siano liberi di muoversi, si attrarranno, l'un l'altro. In vece, i due fili, si respingeranno, benchè paralleli, se trasmetteranno correnti dirette in verso opposto. Questi fatti si possono dimostrare sperimentalmente, in una bella maniera, facendo galleggiare sull'acqua due correnti circolari. Se le due correnti procederanno, entrambe, nel senso degl'indici d'un orologio, o nel senso opposto, si vedranno attirarsi; e si vedranno respingersi, se l'una procederà in un senso e l'altra nel senso opposto.

Attrazioni e ripulsioni mutue dei magneti.

101. Ampère, che scoperse quest' ultime proprietà delle correnti, ci mostrò pure che, per molti riguardi, un magnete può essere paragonato ad un sistema di correnti circolari, tutte parallele l'una all'altra, e così dirette che un osservatore, il quale guardasse, di fronte, il polo nord di una verga magnetica, liberamente sospesa, vedrebbe la corrente positiva discendere da est, o da sinistra, per risalire ad owest, ossia a destra. Ammesso questo modo di

Digitized by Google

considerare i magneti, ci possiamo rendere facilmente ragione dell'attrazione dei poli eteronimi dei magneti medesimi, e della ripulsione dei loro poli omonimi; poichè, quando sono affacciati poli eteronimi, le correnti circolari, che si trovano di fronte, sono tutte dirette nello stesso senso, — e quindi i due poli devono attirarsi: mentre, quando sono affacciati poli omonimi, le correnti, che si trovano di fronte, sono dirette in senso opposto, — e i poli devono quindi respingersi.

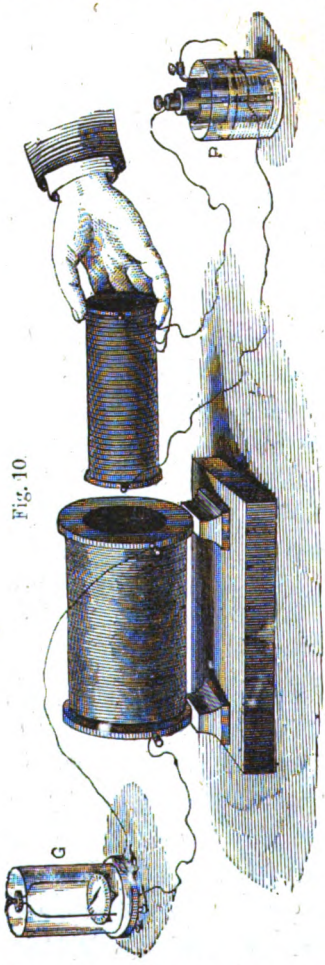


Fig. 10

Correnti d'induzione.

102. Prima di chiudere questa breve rivista dei fenomeni elettrici, dobbiamo accennare agli effetti di induzione delle correnti. Immaginiamo [Fig. 10] che due fili metallici, ricoperti di seta, siano ravvolti rispettivamente intorno a due rocchelli, collocati l'uno presso l'altro. — Le estremità del filo posto a destra siano congiunte, ciascuna, con un polo di una pila, così che vi circoli una corrente. Il filo a si-

Digitized by Google

nistra, alla sua volta, sia in comunicazione con un galvanometro, mediante il quale, si possa svelare la più debole corrente, che vi potesse circolare. Così disposte le cose, si trova che, nell'atto che si connette colla pila il filo di destra, in modo che vi passi la corrente, una corrente momentanea si lancia in quello di sinistra, e fa deviare l'ago magnetico del galvanometro, al che si riconosce ch'essa procede in direzione contraria a quella della corrente della pila.

103. Finchè la corrente seguita a passare nel filo a destra, non v' ha corrente in quello a sinistra; ma, nell'atto che si tolgono le comunicazioni del primo colla pila, una corrente momentanea si lancia nuovamente nel secondo, e questa volta nella direzione stessa di quella della pila, invece di essere, come prima, in direzione opposta. — In altre parole, nell'atto che *si chiude* il circuito di destra, si ha, nell'altro, una corrente istantanea contraria di senso a quella del primo: mentre, nell'atto che il circuito di destra si *apre*, si ha nell'altro una corrente momentanea, che ha la stessa direzione di quella del primo.

104. Per verificare sperimentalmente questa induzione di correnti, non è assolutamente necessario di chiudere ed aprire il circuito di destra; poichè si può eseguire l'esperienza, mantenendolo costantemente chiuso, e disponendo le cose in modo da poterlo (senza toglierne le comunicazioni colla pila) avvicinarlo all'altro e scostarnelo, alternativamente. — Così, accostando il rocchello di destra all'altro, si avrà lo stesso effetto, che si aveva, nell'esperienza precedente, nell'atto che si chiudeva, cioè a dire, si avrà una corrente indotta, che procederà in direzione contraria a quella dell' inducente: scostandolo, si avrà, invece, una corrente nella stessa direzione.

Digitized by Google

105. Vediamo, così, che l'effetto dell'induzione è lo stesso, sia che manteniamo fissi entrambi i circuiti, e lanciamo una corrente in quello di destra, sia che manteniamo continua la corrente in quest'ultimo, e lo avviciniamo all'altro; infatti, in entrambi i casi il circuito di sinistra si trova di subito presentato ad una corrente. — Così pure, otteniamo l'effetto stesso, sia che apriamo il circuito di destra, in modo da interromperne la corrente, sia che lo discostiamo dall'altro; infatti, — effettivamente nell'uno, virtualmente nell'altro — in entrambi i casi, il secondo circuito vien, di subito, rimosso dalla presenza di una corrente.

Enumerazione delle varie energie.

106. Ora siamo in grado di enumerare le varie specie di energia, che s'incontrano in natura; prima, però, dobbiamo avvertire i nostri lettori che questa enumerazione, che veniamo a fare, non contiene nulla di assoluto e di completo intorno alle varie specie di energia, poichè ben si può dire ch' essa presenta, non tanto lo stato attuale delle nostre cognizioni, come quello della nostra ignoranza profonda dell'intima costituzione della materia. — Per vero dire, essa non è che una conveniente classificazione e nulla più.

107. Cominciamo, dunque, coll' energia visibile. — Abbiamo prima di tutto —

Energia di moto visibile.

(A). L'energia di moto attuale — nei pianeti, nelle meteoriti, nelle palle da cannone, nella grandine, nei corsi

Digitized by Google

d'acqua, e in altri casi, in cui si hanno corpi in moto attuale, troppo numerosi, per essere tutti ricordati.

Energia visibile di posizione.

(B). Abbiamo anche l'energia visibile di posizione — in una pietra posta sulla sommità di un'altura, in una massa d'acqua situata in alto, in un nembo, in un arco teso, in un orologio caricato, e in varii altri casi.

108. Vi sono, inoltre, certi casi in cui si hanno (A) e (B), alternativamente.

Un pendolo, ad esempio, quando è nel punto più basso dell'arco, che descrive, possiede soltanto energia (A), o di moto attuale, in virtù della quale, ascende per un certo tratto, in opposizione alla gravità. Quando, in vece, esso ha compiuto la sua ascensione, la sua energia è tutta della varietà (B), e si deve alla posizione, non più al movimento; e così continua ad oscillare, cangiando alternativamente la natura della sua energia, da (A) in (B), e da (B) nuovamente in (A).

109. Un corpo in vibrazione offre un esempio di alternazione consimile. — Ogni particella di un corpo in vibrazione può essere paragonata ad un pendolo estremamente piccolo, che oscilli, innanzi e indietro, assai più rapidamente che non faccia un pendolo ordinario; e nel modo stesso che l'energia d'un pendolo ordinario è tutta dell'una natura, quando esso passa per il punto d'equilibrio, mentre è tutta dell'altra, quando giunge al termine della sua ascensione, l'energia di una particella vibrante è tutta della varietà (A), quando essa passa pel punto d'equilibrio, ed è tutta della varietà (B), quando raggiunge il massimo spostamento.

Digitized by Google

Movimento termico.

110 (C). Venendo ora all'energia molecolare o invisibile, qui abbiamo, in primo luogo, l'energia dovuta a quel movimento delle molecole dei corpi, che noi chiamiamo calore; meglio sarebbe chiamarlo *calore assorbito*, per distinguerlo dal *calor raggiante*, cosa ben differente. — Quel particolare movimento, che si suscita, quando i corpi assorbono calore, costituisce, dunque, una varietà d'energia molecolare.

Separazione molecolare.

(D). Analoga alla precedente è quella energia, generata dal calore, la quale implica una posizione vantaggiosa, in vece di un movimento attuale. Infatti, l'energia del calore assorbito da un corpo si spende, in parte, nel separare le molecole del corpo, in opposizione alle forze attrattive, che tendono ad aggregarle (Art. 73); ed, in tal modo, si accumula una certa quantità di energia di posizione, che si consuma, quando il corpo si raffredda.

Separazione atomica o chimica.

111 (E). Le due precedenti varietà di energia si possono considerare come associate colle molecole e colla coesione, piuttosto che cogli atomi e colla affinità chimica. — Venendo ora alle forze atomiche, abbiamo una specie di energia di posizione, dovuta alla separazione d'atomi eterogenei, che risentono potente attrazione chimica, l'uno per

Digitized by Google

l'altro. Così, quando possediamo carbone, ossia carbonio, e ossigeno, separati, l'uno dall'altro, possediamo una sorgente di energia di separazione chimica.

Separazione elettrica.

112 (F). La reciproca attrazione degli atomi eterogenei può, tal volta, dare origine ad una specie di energia, che si manifesta sotto una forma assai singolare, apparendo come separazione elettrica, la quale è così un'altra forma di energia di posizione.

Elettricità in movimento.

113 (G). Vi è poi un' altra specie di energia associata colla elettricità; v'è, infatti, quella che si deve alla elettricità in movimento, ossia alla corrente elettrica, che rappresenta, probabilmente, qualche forma di moto attuale.

Energia raggiante.

114 (H). È cosa ben conosciuta che fra il sole e la terra non vi è materia ordinaria, o, almeno, è assai improbabile che vi sia; eppure vi è una specie di energia, che si può chiamare energia raggiante, la quale si trasporta dal sole a noi, movendosi con una definita velocità, velocità grandissima, poichè essa impiega a compire il suo viaggio poco più di otto minuti primi. — Ora, si sa che questa energia raggiante è costituita dalle vibrazioni di un mezzo elastico, che riempie tutto lo spazio, e che si chiama *etere* o *mezzo etereo*. Epperò, siccome consiste di vibra-

Digitized by Google

zioni, essa ha lo stesso carattere di quella che corrisponde al movimento del pendolo, cioè a dire, l'energia delle singole particelle dell'etere è alternativamente dovuta ora alla posizione ed ora al movimento attuale.

Legge della conservazione dell'energia.

115. Ora, poichè abbiamo procurato, provvisoriamente al meno, di registrare le varie specie di energia, siamo in grado di stabilire, più precisamente, che cosa s'intende per conservazione dell'energia. A questo scopo prendiamo in considerazione l'universo nella sua totalità, o, se ci par troppo, immaginiamo, se è possibile, che una piccola porzione di esso sia isolata, da tutto il resto, per ciò che risguarda la forza e l'energia, formando così una specie di microcosmo, sul quale noi possiamo concentrare opportunamente la nostra attenzione.

Ciò posto, questa porzione dell'universo non potrà cedere della propria energia all'esterno, e, neppure, ne potrà ricevere da esso. Siffatto isolamento, s'intende, è impossibile in natura; pure, si può concepirlo, e giova, se non ad altro, a circoscrivere le nostre considerazioni. Ora, così se consideriamo l'intero universo, come se consideriamo il limitato microcosmo, il principio della conservazione dell'energia asserisce che la somma di tutte le varie energie è una quantità costante, cioè a dire che si ha, adottando il modo d'esprimersi dell'algebra

(A) + (B) + (C) + (D) + (E) + (F) + (G) + (H) = ad una costante.

116. Con ciò, non s'intende certamente che (A), e gli altri termini del primo membro dell'equazione, siano, cias-

Digitized by Google

cuno, costanti in sè stessi; poichè, nel fatto, essi vanno continuamente cangiandosi l'uno nell'altro, — ora energia visibile trasformandosi in calore, oppure in elettricità, ora calore, o elettricità, riprendendo la forma di energia visibile; solamente s'intende che la somma di tutte queste energie, prese insieme, è costante. — Abbiamo, insomma, nel primo membro otto quantità variabili, e non faciamo che asserire che la loro somma è costante, non affermando, per nulla, che ciascuna di esse sia costante per sè.

117. Ora, quali sono le prove della nostra asserzione? — Possiamo ripetere che abbiamo gl'indizii più convincenti che il fatto vi risponde. Questa asserzione è veramente mirabile per la sua grandezza, per la sua universalità, e per la sottile natura degli agenti ai quali si riferisce.

Ma, se il principio della conservazione dell'energia è vero, la sua verità non si può certamente dimostrare nel modo stesso che quella di una proposizione di Euclide. — Esso non ammette, neppure, una dimostrazione così rigorosa come quella dell'analogo principio della conservazione della materia; poichè, in chimica, si possono raccogliere i prodotti delle combinazioni, tanto completamente da porre fuor d'ogni dubbio che nessuna particella di materia, che abbia peso, può cessare d'esistere: così, si dimostra, ad esempio, che, quando il carbone brucia nel gas ossigeno, ciò che accade non è che un cangiamento di condizioni. — Ma così facilmente non potremmo provare che, in quest'ultima combinazione, non vi è perdita d'energia, e che altro non avviene che una trasformazione dell'energia di separazione chimica in quella di calore assorbito; infatti, durante il processo, è impossibile isolar l'energia, poichè, per quanto si faccia, parte se ne diffonderà sempre per la

Digitized by Google

camera, dove si eseguirà l'esperienza, parte sfuggirà, senza dubbio, per la finestra, mentre qualche piccola parte lascerà completamente la terra, per diffondersi negli spazi. — Tutto ciò che si può fare, in questo caso, è stimare, più completamente che sia possibile, quanta energia si disperde, poichè non si può impedire che si disperda. Ma questa operazione richiede una profonda cognizione delle leggi dell'energia, e una grande esattezza d'osservazione. Così, i nostri lettori possono subito vedere come sia molto più difficile provare la verità della conservazione dell'energia che provar quella della conservazione della materia.

118. Tuttavia, se è difficile provare il nostro principio nel modo più rigoroso, pure possiamo dare la più valida prova indiretta della sua verità.

I nostri lettori hanno senza dubbio famigliare un metodo, che Euclide impiega frequentemente, per dimostrare le sue proposizioni; egli parte dalla supposizione che la proposizione, che vuol dimostrare, non sia vera e, ragionando dietro questa ipotesi, viene ad una conclusione assurda, donde conchiude che la proposizione dev'essere vera. Possiamo adottare un metodo, in certo qual modo simile a questo, per dimostrare il nostro principio; in vece, però, di supporlo falso, supponiamolo vero. — Ora, si può spesso mostrare che, se esso è vero, date certe condizioni, si devono ottenere certi risultati; per esempio, se esso è vero, aumentando la pressione sopra una massa d'acqua, se ne deve abbassare il punto di congelamento. Ebbene, se si fa l'esperienza, si trova, precisamente, che il punto di congelamento dell'acqua si abbassa, coll' aumentare la pressione. — Così, si ottiene un argomento, in favore della conservazione dell'energia.

Digitized by Google

119. Così pure, si può mostrare che, se le leggi dell'energia sono vere, ogni sostanza, che si contrae, quando si riscalda, deve, per effetto della compressione, raffreddarsi, anzichè riscaldarsi. Ora, è ben noto che l'acqua, nel passare dalla temperatura del ghiaccio fondente, o da una temperatura di poco superiore a quello del suo punto di congelamento, a 4° C., si contrae, in vece di espandersi; e Guglielmo Thomson ha trovato coll'esperimento che, fra tali temperature, l'acqua si raffredda, per súbita compressione, in vece di riscaldarsi. La gomma elastica offre un altro esempio di questa relazione fra le due proprietà, poichè una lista di gomma elastica, stirata, si riscalda, in luogo di raffreddarsi, cioè, la sua temperatura s'innalza, per la distensione, e s'abbassa, per la compressione; — ora, se riscaldiamo la lista stessa, troviamo ch'essa si raccorcia, in luogo di dilatarsi, come fanno, per la massima parte, gli altri corpi, quando se ne aumenta la temperatura.

120. In casi innumerevoli, supponendo vere le leggi dell'energia, si riesce a predire quello che deve accadere; in altre parole, queste leggi si trovano vere, in tutti i casi in cui si può assoggettarle alla testimonianza di rigorosi esperimenti, e, probabilmente, non si ha prova della verità del principio fondamentale migliore di quella che si ottiene a questo modo. Quindi procederemo oltre, supponendo che la conservazione dell'energia si verifichi in tutti i casi, e tratteremo delle varie trasformazioni, che questo sottile agente subisce, nel passare, entro e fuori, da una in altra dimora, facendo intanto osservazioni, che varranno, crediamo, a convincere i nostri lettori della verità della nostra supposizione.

Digitized by Google

CAPITOLO QUARTO.

TRASFORMAZIONI DELL' ENERGIA.

Energia di moto visibile.

121. Incominciamo a esaminare la serie delle trasformazioni nella energia di moto visibile. — Questa si cangia in *energia di posizione*, quando una pietra è lanciata in alto o, per prendere un esempio precisamente simile, quando un pianeta, od una cometa, si movono dal perielio, punto dell' orbita più prossimo al sole, all'afelio, punto più lontano. Vediamo così, perchè i corpi celesti possiedono la massima velocità al perielio, la minima all' afelio. Un pianeta, che descrivesse, intorno al sole, un'orbita perfettamente circolare, manterrebbe sempre la stessa velocità, poichè, non cangiando mai la sua distanza dal centro d'attrazione, non accadrebbe trasmutazione d'energia.

122. Abbiamo detto (Art. 108, 109) che l'energia dei corpi oscillanti e vibranti è alternativamente dovuta al moto attuale e alla posizione. Per riguardo a ciò, un pendolo si comporta, quindi, come una cometa, e, in genere, come un corpo celeste, che descrive un'orbita ellittica. Tuttavia, nel pendolo, e nei corpi vibranti, il cangiamento d'energia

Digitized by Google

è più completo che non sia nei corpi celesti: poichè l'energia del pendolo è interamente dovuta al moto attuale, nel punto più basso dell'arco, mentre, nel punto più alto, è interamente dovuta alla posizione. In vece, nel caso dei corpi celesti, la conversione dell'energia dell'una specie in quella dell'altra non è che parziale, poichè la velocità diminuisce, ma non si distrugge completamente, quando il corpo, dal perielio, passa all'afelio.

123. Veniamo a considerare la conversione dell'energia visibile attuale in *calore assorbito*. Questa ha luogo ogniqualvolta vi è attrito, percussione, resistenza. Conversione di lavoro, o d'energia, in calore si ha, per esempio, nell'attrito, nel qual caso si produce, poichè due superficie si strofinano, l'una contro l'altra; e, come Davy ha mostrato, due pezzi di ghiaccio, mantenuti entrambi a temperatura più bassa del punto di fusione, si possono fondere, strofinandoli insieme. Nella percussione si converte in calore l'energia, che implica il colpo; mentre, nel caso che una palla da cannone, o una meteorite, traversano l'atmosfera, con grande velocità, si ha una certa perdita della loro energia a cagione del contatto coll'aria, e, nel tempo stesso, una produzione di calore, in ragione della resistenza medesima.

Nè è necessario che la resistenza sia opposta dall'aria, poichè, facendo penetrare una palla da cannone in una tavola di legno, in uno strato di sabbia, avremmo, similmente, produzion di calore, in ragione della resistenza opposta, al movimento della palla, dalla tavola di legno, dallo strato di sabbia. Possiamo anzi, ancor più generalmente, asserire che, ogniqualvolta il momento visibile di un corpo si trasmette ad uno di maggior massa, si ha,

Digitized by Google

simultaneamente, conversione d'energia visibile in calore.

124. Questo punto vuol essere brevemente schiarito.

La terza legge del moto ci apprende che l'azione e la reazione sono eguali ed opposte, così che, quando due corpi si urtano, le forze in azione generano eguali ed opposte quantità di momento. — Vedremo, nel miglior modo, il senso di questa legge con un esempio numerico, rammentando che per momento s'intende il prodotto della massa per la velocità.

Supponiamo, per esempio, che un corpo anelastico, di massa 10 e di velocità 20, urti, direttamente, un altro corpo anelastico, di massa 15 e di velocità 15, la direzione del movimento essendo la stessa per entrambi.

Si sa che, dopo l'urto, le due masse, unite, si moveranno con velocità 17. Qual'è stata, dunque, l'influenza delle forze sviluppate dall'urto? — Il momento del corpo più veloce, prima dell'urto, era $10 \times 20 = 200$, mentre, dopo, non è più che $10 \times 17 = 170$: il corpo ha quindi perduto 30 unità di momento, e fa lo stesso pensare che 30 ne abbia ricevuto in direzione contraria a quella del moto. — D'altra parte, il momento del corpo meno veloce, che prima dell'urto era $15 \times 15 = 225$, dopo, è $15 \times 17 = 255$, epperò è stato aumentato di 30, nella direzione del moto.

La forza dell'urto ha quindi generato 30 unità di momento, in due opposte direzioni, per modo che, tenuto calcolo della direzione, il momento del sistema è, dopo l'urto, lo stesso che prima: — prima, infatti, è $10 \times 20 + 15 \times 15 = 425$, — dopo, le 25 unità di massa unite, movendosi con velocità 17, danno lo stesso momento 425.

125. Ma, se il momento, dopo l'urto è lo stesso che prima,

Digitized by Google

l'energia visibile delle masse in moto, dopo l'urto, è, senza dubbio, minore di prima. Per veder ciò, non abbiamo che da ricorrere alla espressione dell'Art. 28, donde ricaviamo che l'energia, in chilogrammetri, prima è $\frac{pv^2}{19,6} = \frac{10 \times 20^2 + 15 \times 15^2}{19,6} = 376$ circa, mentre, dopo, è $\frac{25 \times 17^2}{19,6} = 368$ circa.

126. Si trova una perdita d'energia, ancor più manifesta, supponendo che un corpo anelastico, in moto, urti contro un corpo simile, in quiete. Così, se un corpo di massa 20 e di velocità 20, urterà un corpo di egual massa, in quiete, la velocità della doppia massa, dopo l'urto, sarà, come facilmente si comprende, 10 soltanto, e l'energia, che prima sarà $\frac{20 \times 20^2}{19,6} = \frac{8000}{19,6}$, non sarà, dopo, che $\frac{40 \times 10^2}{19,6} = \frac{4000}{19,6}$, metà di quella di prima.

127. Vi è dunque, in ognuno di siffatti casi, una manifesta perdita d'energia visibile, e, nel tempo stesso, una produzion di calore, in ragione dell'urto che ha luogo. Se, tuttavia, dovessero venire a conflitto corpi perfettamente elastici, quale non è nessuna sostanza, l'energia visibile sarebbe, dopo l'urto, la stessa che prima, e non se ne convertirebbe punto in calore. Questa, però, è un'estrema supposizione, e, siccome nessuna sostanza è perfettamente elastica, vi è una, più o men grande, conversione di moto visibile in calore, ogniqualvolta vi è urto.

128. Abbiamo detto, (Art. 122), parlando del cangiamento d'energia, che ha luogo nei corpi oscillanti e vibranti,

Digitized by Google

come esso sia un cangiamento completo d'energia attuale in energia di posizione, e viceversa. Ma, qui pure, — in ogni oscillazione, o vibrazione che sia, — una maggiore o minor quantità di energia visibile si converte in calore. Consideriamo, ad esempio, un pendolo, e, per metterci nelle condizioni più favorevoli, supponiamo ch'esso oscilli intorno al filo d'un coltello e nel vuoto. Vi sarà, in questo caso, un debole ma costante attrito del filo del coltello, contro il piano su cui riposa, e, a cagione di ciò, il pendolo, benchè possa oscillare per parecchie ore, finirà per fermarsi. — Siccome poi non si potrà fare un vuoto così perfetto, perchè traccia d'aria non possa trovarsi intorno al pendolo, parte del movimento di esso sarà sempre trasportato via dall'aria rimasta, dopo la rarefazione, nello spazio dove oscilla.

129. Qualche cosa di simile accade in quel moto vibratorio, che costituisce il suono. Così, quando una campana vibra, l'aria circostante trasporta via parte dell'energia delle sue vibrazioni, ed è in virtù di tal trasmissione che si sente la campana rendere un suono. Ma, ancorchè non vi fosse aria, la campana non vibrerebbe per sempre, poichè vi è in tutti i corpi una più o meno efficace coerenza interna, la quale impedisce che le vibrazioni si facciano con piena libertà, e le converte ultimamente in calore.

Le condizioni di una campana vibrante sono dunque simili in tutto a quelle di un pendolo oscillante; infatti, in entrambi, parte dell'energia si trasmette all'aria, e in entrambi, è inevitabile un attrito, che, nell'una, si presenta come interna coerenza, e si produce nell'altro, a cagione dello stropicciamento del filo del coltello, contro il piano, su cui s'appoggia.

Digitized by Google

130. Di più, in entrambi i casi, quella parte d'energia, che si trasmette all' aria, finisce per trasformarsi in calore. Il pendolo oscillante comunica moto all'aria, e questo moto, a poco a poco, la riscalda. — In egual modo, la campana vibrante, e i diversi strumenti musicali, comunicano all'aria parte della loro energia; questa vi si move, da prima, colla ben nota velocità del suono, e intanto parte se ne trasforma, senza dubbio, in calore; — dall'aria vien trasmessa, finalmente, agli altri corpi, e qui, tosto o tardi finisce di trasformarsi, a cagione della loro interna coerenza. Si vede così che in calore si converte ultimamente ogni energia terrestre visibile, sia il moto rettilineo, sia oscillatorio, sia vibratorio.

131. Quando un corpo si move alla superficie della terra di moto rettilineo, questo cangiamento ha tosto luogo; il moto rotatorio, qual è quello di una pesante trottola, può mantenersi per maggior tempo, prima che lo estinguano l'azione dell'aria ambiente e l'attrito dell'asse; se il moto è oscillatorio, come nel pendolo, o vibratorio, come negli strumenti musicali, l'azione dell'aria e l'attrito, d'una o d'altra forma, cospirano, come abbiamo visto, per estinguerlo, e riescono, finalmente, a trasformarlo in calore.

132. Ma, si potrà dire, perchè considerare il moto di un corpo, che si move alla superficie della terra, e non quello della stessa terra? — Anche questo finirà per prendere la forma di calore?

Qui, senza dubbio, è ben più difficile riconoscere la trasformazione dell'energia, poichè non procede, innanzi ai nostri occhi, con sensibile rapidità. Si può dire che quella stessa condizione di cose, che rende la terra abitabile, soggiorno conveniente ad esseri intelligenti quali noi siamo,

Digitized by Google

ci toglie la possibilità di accorgerci che si vada trasformando l'energia della terra. Pure, non siamo senza indizii ch'essa realmente si trasforma: — per mostrare quali sono, dobbiamo considerare separatamente i due movimenti, di rotazione e di rivoluzione.

133. Per ciò che risguarda il movimento di rotazione, la conversione in calore dell'energia correlativa a questo movimento fu ben constatata in questi ultimi tempi; per vedere come avvenga, non abbiamo che da studiare quale effetto ha sulla parte fluida del nostro globo l'azione della luna. La seguente figura (fig. 11) mostra, in proporzioni esagerate, l'effetto di questa azione: rileviamo da essa che la sfera terrestre si converte in un ovoide allungato, un'estremità del quale si dirige verso la luna. Poichè la prominenza fluida si mantiene costantemente diretta verso

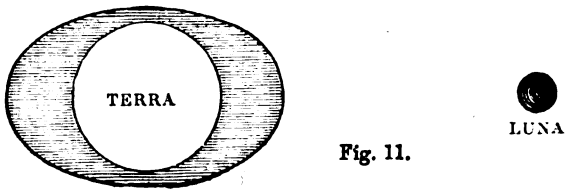


Fig. 11.

la luna, come si vede nella figura, mentre il globo solido va rotando, colla sua propria velocità, il globo è obbligato, nel rotare, a strofinarsi contro di essa. L'attrito, che questa azione della luna produce, tende evidentemente a scemare l'energia rotatoria della terra; ben si può dire ch'essa agisce non altrimenti che un freno, onde si ha, come nel caso in cui un freno è posto a serrare una ruota in movimento, conversione d'energia visibile in calore. Mayer e Giacomo Thomson furono i primi che riconobbero questo stato di cose.

Digitized by Google

134. Posto fuor di dubbio che tal conversione ha luogo, resta a trovarsi con qual velocità progredisce, e quanto tempo dovrà passare, prima che l'energia della rotazione del globo ne risulti sensibilmente modificata.

Ora, gli astronomi credono di avere scoperto una prova che una tale modificazione è realmente avvenuta, ed ecco in qual modo. — Le cognizioni, che si hanno intorno ai movimenti del sole e della luna hanno raggiunto un tal grado di precisione, che, non solo si possono spingere i calcoli nell'avvenire, in modo da predire un'eclisse, ma si possono ancora spingere nel passato, e fissare così, con tutta esattezza, le date d'eclissi, che si trovano ricordate nelle antiche storie. Ora, è ben evidente che le circostanze di una certa eclisse totale antica, quali risultano dai calcoli, non saranno precisamente tali, quali si trovano ricordate, se, fra il tempo in cui l'eclisse è avvenuta e il presente, la terra ha perduto, per quella influenza, che risente dalla luna, alquanto della sua energia di rotazione. Per mezzo di confronti di questa natura, si crede di aver constatato che l'energia di rotazione della terra ha subito una piccolissima diminuzione. — Ragionando, si viene così alla conclusione che l'energia stessa andrà sempre diminuendo di più in più, finchè la rotazione non si compirà in tempo eguale a quello che impiega la luna, per compire una rivoluzione; allora, poichè sarà sempre volta alla luna la stessa parte della superficie della terra, è evidente che il globo solido non dovrà più esercitare nessuno sforzo, per rotare sotto la prominenza fluida, non vi sarà più attrito e, di conseguenza, non si perderà ulteriormente energia.

135. Se la terra è destinata a dover volgere sempre la

Digitized by Google

stessa faccia alla luna, è abbastanza manifesto che simil sorte ha già subito, da gran tempo, la luna stessa. Infatti, è ben noto, non agli astronomi solamente, ma ad ognuno di voi, che oggidì la luna rivolge sempre la stessa faccia alla terra, e, probabilmente, l'azione più efficace della nostra terra ebbe tal risultato sopra la luna, fino da quell'epoca remota, in cui essa era, per la massima parte, in istato fluido [1]. Senza dubbio, tal sorte è toccata, da lungo tempo, ai satelliti di Giove, di Saturno, degli altri pianeti maggiori; e, almeno nel caso di Giove, si può riconoscere da indizii diretti che i satelliti rivolgono sempre la stessa faccia al pianeta.

136. Venendo ora all'energia, che corrisponde al moto di rivoluzione, noi non possiamo dispensarci dal credere che un certo mezzo materiale si trovi fra il sole e la terra; — la teoria ondulatoria della luce non potrebbe stare altrimenti. Ma, se si crede che questo mezzo vi sia, si stenta a comprendere come la sua presenza non debba andar diminuendo il moto di rivoluzione, che compie la terra, movendosi nella propria orbita: e, per verità, vi è tutta la probabilità scientifica, se non si può dire la certezza assoluta, che lo vada realmente diminuendo. Vi sono anzi ragioni per credere che, per tal causa, si estingua a poco a poco l'energia di una cometa di breve periodo, — la cometa di Encke. Insomma, appena si può mettere in dubbio che questa azione agisca realmente, e debba modificare, col tempo, i movimenti dei pianeti e degli altri

[1] Questa spiegazione fu data per la prima volta dai professori Thomson e Tait nella loro « *Natural Philosophy* » e dal dottor Frankland in una lettura all'Istituto Reale di Londra.

Digitized by Google

corpi celesti, sebbene sia così lenta che noi non ne possiamo scoprire gli effetti.

Forse, più generalmente si può dire che, nell'universo, dovunque vi è movimento differenziale, vale a dire dovunque una parte si move, avvicinandosi ad un'altra oppure scostandosene, il moto non va libero d'una specie d'attrito, generato dalla presenza di quel mezzo sottilissimo che, a guisa di cemento, collega insieme le varie parti dell'universo, così che ogni movimento differenziale dovrà finalmente scomparire, mentre l'energia, che sparirà in conseguenza, prenderà la forma di calore.

137. Vi sono misteriosi indizii in appoggio della probabilità che una trasformazione di tal natura vada procedendo nel sistema solare. Infatti, nel sole stesso la materia, che occupa le regioni equatoriali, per la rotazione dell'astro, viene, alternativamente, presentata ai diversi pianeti, e da essi scostata. Ora, sembra che le macchie solari, vale a dire le agitazioni dell'atmosfera del sole, affettino particolarmente le regioni equatoriali, ed abbiano quasi una tendenza a raggiungere la maggiore estensione nei punti più lontani dai pianeti, che devono esercitare sul sole la maggiore influenza: — Mercurio e Venere [1]. Così, se Venere, ad esempio, si trova fra il sole e la terra, poche macchie si manifestano nel mezzo del disco solare, poichè questa parte è più prossima a Venere d'ogni altra.

Ma, se i pianeti esercitano un'influenza sulle macchie solari, senza dubbio, l'azione è reciproca; e si hanno buone ragioni, per credere che le macchie solari influiscano, non

[1] Vedi le ricerche sulla fisica solare di De La Rue, Stewart e Loewy.

Digitized by Google

soltanto sul magnetismo, ma eziandio sulle condizioni meteorologiche della nostra terra, cosichè si manifesti un maggior numero tanto d'aurore boreali che di cicloni in quegli anni in cui si conta un maggior numero di esse [1]. Non può darsi allora che questi fenomeni strani e misteriosi ci guidino alla conoscenza del meccanismo, per mezzo del quale il movimento differenziale del sistema solare si va cangiando, a poco a poco, in calore?

138. Abbiamo dunque veduto che l'energia visibile di moto attuale si converte non di rado in energia visibile di posizione, assai frequentemente in calore assorbito: dobbiamo ora constatare come possa egualmente convertirsi in *separazione elettrica*. Così, quando si fa agire una delle ordinarie macchine elettriche, si spende un ragguardevole lavoro nel girare la manovella; questa è, senza dubbio, più faticosa a girare che non sarebbe, se non ci fosse produzione di elettricità; in altre parole, parte dell'energia, che si spende sulla macchina, s'impiega a produrre la separazione elettrica. — L'elettricità si può generare mediante altri processi, oltre lo strofinio. Se, per esempio, accostiamo al conduttore di una macchina elettrica un dischetto di sostanza conduttrice, isolato, mantenendolo abbastanza lontano perchè non iscocchi la scintilla, e poi lo tocchiamo, lo troviamo, poi, carico di elettricità opposta a quella del conduttore, e, rimossolo, possiamo usare di questa elettricità.

Si richiede un po' di riflessione, per vedere qual lavoro si eseguisca in questa operazione. Bisogna ricordarsi che,

[1] Vedi le Ricerche sul Magnetismo di Sir E. Sabine, come pure gli studi di C. Meldrum sulla Periodicità dei Cicloni.

Digitized by Google

col toccare il dischetto, se ne toglie l'elettricità omonima a quella del conduttore della macchina, per modo che, dopo toccato, è attratto dal conduttore più fortemente di prima; segue da ciò che rimuoverlo deve costare uno sforzo, e, in ragione dell'energia meccanica che pertanto si spende, si ottiene energia di separazione elettrica.

139. Si può così servirsi di un piccolo nucleo di elettricità, per procurarsene una quantità illimitata; poichè, in questo processo, la carica del conduttore si mantiene inalterata, e si può ripetere l'operazione tante volte quante si vuole, accumulando così una ragguardevolissima quantità d'elettricità, senza mai alterarla, non senza spendere però una quantità d'energia equivalente, in forma di lavoro effettivo.

140. Mentre, come abbiamo veduto, ogni movimento tende a cangiarsi in calore, vi è un caso in cui il movimento, in primo luogo al meno, si cangia in *corrente elettrica*. Alludiamo al caso in cui una sostanza conduttrice si move, in presenza d'una corrente elettrica, o d'un magnete.

Abbiamo trovato nell'Art. 104 che, quando un rocchello, in comunicazione con una pila, si move rapidamente, in presenza di un altro, connesso con un galvanometro, si genera in quest'ultimo una corrente d'induzione, che, al galvanometro, rivela una direzione contraria a quella della corrente, che passa per l'altro. Ora, una corrente elettrica implica energia, epperò possiamo conchiudere che, per produrre quella che si genera nel rocchello connesso col galvanometro, qualche altra forma d'energia deve spendersi, e scomparire.

Dall'Art. 100 rileviamo che due correnti, che procedono

Digitized by Google

in verso opposto, mutuamente si respingono. Per conseguenza, la corrente, che si genera nel rocchello annesso al galvanometro, o corrente secondaria, respinge la principale, che si move verso di essa, e questa repulsione o estingue il moto o rende necessario, per mantenerlo, che si spenda energia. Troviamo così che accadono simultaneamente due fenomeni. In primo luogo, vi è una produzione di energia nel circuito secondario, con una corrente di verso opposto a quello della corrente del circuito principale: in secondo luogo, vi è un'estinzione, o una scomparsa, dell'energia di moto effettivo del rocchello in movimento, dovuta alla mutua repulsione della corrente indotta e dell'inducente. Si crea una specie di energia e, nel tempo stesso, ne scomparisce un'altra: così non s'infrange la legge della conservazione.

141. Vediamo anche come sia necessaria la connessione delle due leggi elettrologiche, enunciate negli Articoli 100 e 104. Infatti, se queste leggi fossero diverse da quello che sono, si avrebbe, nei fatti or menzionati, una violazione del principio della conservazione dell'energia.

Se, ad esempio, la corrente indotta avesse la stessa direzione, che ha la principale, le due correnti si attrarrebbero mutuamente, epperò la creazione della corrente secondaria nel rocchello connesso col galvanometro, — creazione che implica produzione d'energia, — andrebbe congiunta, con un incremento dell'energia visibile di moto del rocchello, che trasmette la corrente principale. In altre parole, due specie di energia si creerebbero simultaneamente, in vece di prodursene una, mentre un'altra scompare, e sarebbe così violata la legge della conservazione.

Ecco dunque che il principio della conservazione ci

Digitized by Google

mette in grado di dedurre l'una legge elettrologica dall'altra; questo è anzi una de' molti esempi, che convalidano la nostra credenza nella verità di questo grande principio, che stiam sostenendo.

142. Veniamo a considerare ciò che accade, quando si allontana il circuito principale dal secondario, in luogo di avvicinarnelo.

In questo caso, come sappiamo dall'Art. 104, la corrente indotta ha la stessa direzione, che ha la principale, e l'Articolo 100 ci apprende che le due correnti dovranno perciò mutuamente attirarsi. Questa attrazione tende ad estinguere il movimento della corrente principale, vale a dire che una certa quantità di energia di movimento visibile scompare, nell'atto che una corrente si produce. In entrambi i casi scompare, adunque, una forma di energia, nell'atto che un'altra se ne produce, e si prova, infatti, una resistenza sensibile a movere il circuito principale, innanzi al secondario, sia nell'avvicinarlo che nello scostarlo. Nell'una e nell'altra operazione si eseguisce un lavoro, e se ne ricava una corrente, ne' primi istanti, e da ultimo calore, poichè sapiamo dall'Art. 98 che, quando una corrente passa per un filo, la sua energia si spende ordinariamente nel riscaldare il filo stesso.

Così, due fenomeni si presentano simultaneamente. In primo luogo, si prova una resistenza nell'accostare una corrente elettrica ad un filo metallico o ad altro conduttore, e nello scostarnela, — oppure nell'accostare un filo metallico od altro conduttore ad una corrente elettrica, e nello scostarnelo, [ciò che fa lo stesso perchè azione e reazione sono eguali ed opposte], — e, per far ciò, bisogna spendere energia; in secondo luogo, si genera una cor-

Digitized by Google

rente elettrica nel conduttore, che per conseguenza si riscalda.

143. Si possono presentare questi risultati sotto un aspetto brillante, facendo rotare un corpo metallico fra due pezzi di ferro dolce, che si possono far diventare istantaneamente poli di un potente elettromagnete, mediante una corrente elettrica. Il moto del corpo rotante si estingue, come se incontrasse un invisibile attrito, tostochè si creano i due poli magnetici. Si può facilmente spiegare come si ha questo curioso risultato. Il magnete, per ciò che abbiamo veduto nell' Art. 108, si comporta come un sistema di correnti elettriche: il corpo metallico in rotazione è un conduttore, che, alternativamente, s'avvicina a queste correnti e se ne discosta: quindi, per ciò che abbiamo detto, si produrrà al disopra di esso una serie di correnti secondarie, le quali ne estingueranno il moto, che finirà per assumere la forma di calore. In somma, l' energia visibile del corpo in rotazione si cangerà in energia termica, come se l'attrito ordinario estinguesse il movimento.

144. L'elettricità, che si induce in un conduttore metallico, che si move in presenza di un potente magnete, ha ricevuto il nome di Magneto-Elettricità; il Dr. Joule si giovò opportunamente di essa, per determinare l'equivalente meccanico del calore, poichè in calore si converte, da ultimo, l' energia di moto del conduttore. Inoltre, le correnti magneto-elettriche forniscono, forse, il miglior modo, che si conosca, per ottenere elettricità; e recentemente furono impiegate a tal fine nelle potenti macchine costrutte da Wild e da altri.

145. Queste macchine, che, quando raggiungono ragguardevoli dimensioni, si fanno agire mediante una mac-

Digitized by Google

china a vapore, operano nel modo seguente: — Il nucleo della macchina si ha in un sistema di efficaci magneti permanenti d'acciaio, e un circuito conduttivo si fa rapidamente girare in presenza di essi. La corrente, che si produce, pel movimento di questo circuito, s'impiega a produrre una calamita estremamente efficace. Finalmente, un secondo circuito si fa girare, molto velocemente, innanzi a questa elettro-calamita, e così si producono correnti indotte di grande intensità. Queste correnti sono così intense che al lume della luce elettrica, che possono dare, si può leggere una minuta stampa, in una notte oscura, a due miglia dalla scena dell'operazione!

Si vede così che, in queste macchine, si fa un doppio uso della magneto-etettricità. Partendo da un nucleo di magnetismo permanente, le correnti magneto-elettriche s'impiegano, in primo luogo, a produrre un magnete temporario, più efficace del primo, e questo s'impiega, alla sua volta, per generare, nello stesso modo che il primo, mediante la magneto-elettricità, correnti indotte di intensità assai ragguardevole.

146. Vi è poi una grande analogia fra le macchine, che, come quella di Wild, generano correnti elettro-magnetiche e quelle che generano elettricità statica, giusta il metodo descritto nell'Art. 139. Nell'une e nell'altre si trae vantaggio da un nucleo, poichè, nelle macchine magneto-elettriche, le correnti molecolari del sistema di magneti permanenti ci danno il modo di ottenere enormi correnti elettriche, senza che le loro condizioni si modifichino permanentemente, non senza che noi faciamo un lavoro.

Così, in una macchina, che genera elettricità statica, per mezzo dell'induzione, abbiamo quel nucleo di elettri-

Digitized by Google

cità, che supponiamo trovarsi sul conduttore della macchina, ed abbiamo visto come si possa trar vantaggio da esso, per generare una grande quantità di elettricità statica, senza mai alterarlo permanentemente, non senza spendere lavoro.

147. Abbiamo dunque veduto in quali condizioni l'energia visibile di movimento attuale si converta: 1.° in energia di posizione, 2.° nelle due specie di energia comprese sotto il nome di calore assorbito, 3.° in separazione elettrica, 4.° in elettricità in movimento. Per quello che sappiamo, essa non può convertirsi direttamente nè in separazione chimica, nè in energia raggiante.

Energia visibile di posizione.

148. Esaurite così le trasmutazioni della energia di movimento visibile, passando a quelle della energia visibile di posizione, troviamo che questa si trasmuta nella prima, ma non prende direttamente nessun' altra forma: quindi, lasciam tosto di considerarla.

Calore assorbito.

149. Venendo ora a quelle due forme di energia, che abbiamo compreso sotto il nome di *calore assorbito*, troviamo che questo si converte in [A], o in *energia visibile attuale*, nelle macchine a vapore, in quelle ad aria calda, e, in genere, in tutte le macchine termodinamiche, di qualunque specie. — Per esempio, nel caso delle macchine a vapore, parte del calore, che passa per la macchina, scomparisce totalmente e assolutamente, per ricomparire come

Digitized by Google

effetto meccanico. — Però, perchè il calore si possa cangiare in effetto meccanico, dev'essere rigorosamente soddisfatta una condizione — vi dev'essere una differenza di temperatura, e *il calore non si trasformerà in lavoro che nel passare da un corpo a temperatura elevata ad uno la cui temperatura sia bassa.*

Carnot, celebre fisico Francese, ha ingegnosamente paragonato il potere meccanico del calore a quello dell'acqua, poichè nello stesso modo che il calore non può dare lavoro, se non nel passare da un corpo ad alta temperatura ad uno la cui temperatura sia inferiore, l'acqua non può eseguire lavoro, se non nel cadere da un livello elevato ad un livello più basso.

150. Ove si rifletta che il calore tende, essenzialmente, a distribuirsi, si può tosto vedere la ragione di questa legge singolare. — Infatti, per questa sua tendenza, il calore si trasporta sempre dai corpi a temperatura elevata a quelli la cui temperatura è inferiore, e lasciato a sè, si distribuirebbe uniformemente nei diversi corpi, finchè non si ridurrebbero tutti alla stessa temperatura: ora, se si vuole che il calore dia lavoro, bisogna assecondare la sua natura. Si può dire che il calore si comporta come un branco di scolaretti, che, sono sempre disposti ad uscire a corsa dalla scuola nell'aperta campagna, ma non si possono ricondurre, il più delle volte, senza spendere una buona dose d'energia. Nel modo stesso, il calore non si lascia facilmente imprigionare, ma resiste ad ogni tentativo, che si faccia, per accumularlo in uno spazio limitato. Così, non si può ricavar lavoro da questa operazione, ma, tutt'al contrario, bisogna spenderne, se si vuole eseguirla.

151. Consideriamo ora, per un istante, un recinto, dove

Digitized by Google

tutto sia alla stessa temperatura. Qui si ha una quantità inerte di calore, donde non è possibile ricavare il minimo lavoro. La temperatura potrebbe essere alta: così, si troverebbe immagazzinata nel nostro recinto una grande quantità d'energia termica, ma nè pure una traccia ne sarebbe pur sempre utilizzabile in forma di lavoro. Stando al paragone di Carnot, l'acqua, in tal caso, è già tutta caduta allo stesso livello, e vi sta senza più poter eseguire un lavoro utile, — morta, per ciò che risguarda l'energia.

152. Vediamo dunque che, in primo luogo, il calore può dare lavoro, nel passare, da un corpo, ad uno, che sia ad inferiore temperatura, — in secondo luogo, bisogna eseguire lavoro, per far che il calore passi, da un corpo, ad uno, che sia a più alta temperatura, — in terzo luogo, finalmente, non si può ricavar traccia di lavoro da una quantità di calore così distribuito che dappertutto la temperatura sia egualmente elevata.

Ciò che abbiamo detto ci mette in grado di definire quali condizioni devono essere soddisfatte, perchè una macchina termica possa lavorare. — Parte essenziale di siffatte macchine non sono nè il cilindro, nè lo stantuffo, nè i volanti, nè le valvole, ma due camere, l'una ad alta l'altra a bassa temperatura, e la macchina lavora nel trasportare il calore, dalla prima, alla seconda di queste.

Prendiamo ad esempio la macchina a vapore a bassa pressione. Qui la camera ad alta temperatura è la caldaia; il condensatore è la camera a bassa temperatura; e la macchina lavora, mentre il calore si trasporta, dalla caldaia, al condensatore, non mai quando, dal condensatore, si trasporta alla caldaia.

Similmente, nella locomotiva, il vapore si genera ad alta

Digitized by Google

temperatura e pressione, e si raffredda per l'injezione nell' atmosfera.

153. Ma, lasciando le vere macchine, consideriamo un fuoco ordinario, il quale, per ciò che risguarda l'energia, si comporta come una macchina termica. — Qui l'aria fredda, dal pavimento della camera, si trasporta al fuoco, dove s'unisce col carbone, mentre i prodotti rarefatti s'innalzano pel camino. Non considerando, per ora, il processo di combustione, se non in quanto è sorgente di calore, vediamo che una corrente continua d'aria fredda viene riscaldata dal fuoco, onde poi si spinge nell' aria esterna, che si trova di sopra. In questo modo, il calore si distribuisce, ossia, si trasporta, da un corpo a temperatura elevata, come il fuoco, ad uno a bassa temperatura, come l'aria esterna; e, durante la distribuzione, si ottiene un effetto meccanico: — la salita dell' aria pel camino, con ragguardevole velocità.

154. La nostra terra fornisce un esempio simile di macchina termica, che ha per sorgente le regioni equatoriali e le polari per refrigeranti; infatti, l'aria, all'equatore, vien riscaldata dal sole con raggi perpendicolari, onde s' innalza, come nel camino l'aria riscaldata dal fuoco, formando una corrente ascendente; e intanto, una corrente d' aria fredda accorre a rimpiazzarla da entrambi i poli, lungo il suolo, pavimento del globo. Così, l'aria calda s'avvia dall' equatore al polo, nelle alte regioni dell' atmosfera, mentre l' aria fredda dal polo s'avvia all' equatore, nelle regioni più basse. Assai sovente, per l' effetto del calore del sole, una certa quantità di vapor acqueo, nello stesso modo che l'aria, si solleva nelle più alte e più fredde regioni dell' atmosfera, e qui si condensa in pioggia, grandine

Digitized by Google

o neve, che finiscono per ricadere a terra, spiegando spesso, nel loro passaggio, grandissima energia meccanica. Perciò, il marinaio, che spiega la sua vela, — il mugnaio, che macina il grano [sia impiegando la forza del vento che quella dell'acqua corrente], approfittano, entrambi, di questa gran macchina terrestre, che costantemente lavora, producendo effetti meccanici, sempre però, mentre il calore si trasporta dalle regioni più calde alle più fredde.

155. Ora, se è essenziale che una macchina abbia due camere, una più calda dell'altra, è egualmente importante che la temperatura dell'una differisca considerevolmente da quella dell'altra.

Se Natura esige una differenza di temperatura, prima di concederci lavoro, certo è che non riusciremo ad accontentarla, e a soddisfare le sue pretensioni, collo stabilire la più piccola differenza, che sia possibile. Quindi, *cæteris paribus*, una certa quantità di calore, passando per la macchina, renderà un lavoro tanto più grande quanto più la temperatura della caldaia differirà da quella del condensatore. Nelle macchine a vapore la differenza non si può mai rendere molto grande, poichè, se si dovesse troppo riscaldare l'acqua della caldaia, diventerebbe pericolosa la pressione del vapore; si può rendere molto maggiore nelle macchine ad aria, mediante le quali, una massa d'aria, continuamente, si riscalda, e poi si raffredda. Tuttavia, le macchine, dove la temperatura della caldaia è molto elevata, presentano, in pratica, molti inconvenienti; e questi possono diventare così forti che a tali macchine non si dà la preferenza, quantunque, in teoria, siano molto economiche.

156. I principii, che abbiamo ora stabilito, suggerirono

Digitized by Google

al Prof. Giacomo Thomson che, applicando una pressione ad una massa d'acqua, se ne dovesse abbassare il punto di congelamento; e, alcun tempo dopo, il Prof. Guglielmo Thomson, provò la verità di tal previsione. — Il primo si fece un ragionamento simile al seguente:

Supponiamo d'avere in una camera, mantenuta costantemente alla temperatura di 0° C., punto di fusione del ghiaccio, un cilindro di un metro quadrato di sezione, riempito d'acqua fino all'altezza di un metro, ciò è a dire, contenente un metro cubo d'acqua. — Sulla superficie dell'acqua sia posto un embolo a perfetta tenuta, e un ragguardevole peso sia collocato al di sopra di esso. Prendiamo ora il cilindro, con tutto il resto, e trasportiamolo in un'altra camera, la temperatura della quale sia alquanto più bassa. In un certo tempo, l'acqua si congelerà, e, poichè nel congelarsi si espande, solleverà l'embolo, col peso, per nove centimetri all'incirca; — fissiamo l'embolo, nella nuova posizione, mediante un piuolo. Ciò fatto, riportiamo l'apparecchio nella camera di prima; il ghiaccio si fonderà, il cilindro tornerà a riempirsi d'acqua, ma, tra la superficie di questa e l'embolo, si troverà uno spazio vuoto, di circa nove centimetri. Così, si acquista una certa quantità di energia di posizione, e, per utilizzarla, non abbiamo che da ritirare il piuolo, permettendo all'embolo di scendere per lo spazio vuoto, insieme col peso; — dopo di ciò si potrà ricominciare da capo l'operazione. Se il peso fosse molto grande, l'energia così guadagnata sarebbe molto grande essa pure: infatti, l'energia varierà in ragione del peso.

L'apparecchio ora descritto è una vera macchina termica, dove agisce come sorgente la camera a 0° C., e come

Digitized by Google

refrigerante la camera a temperatura alquanto più bassa. — La quantità di lavoro, che la nostra macchina può fornire, — in altre parole, la sua efficienza — dipende dal peso, che si solleva, per lo spazio di nove centimetri; epperò si può aumentare, oltre ogni limite, l'efficienza, aumentando, oltre ogni limite, questo peso. Sembra, così, a prima vista, che, con questa disposizione di cose, — cioè, con due camere, l'una a 0° C., l'altra a una temperatura alquanto più bassa, — noi possiamo ricavare dalla nostra macchina ad acqua tanto lavoro quanto ne vogliamo, e che, per conseguenza, siamo riusciti a superar la Natura. Ma, qui viene a proposito la legge di Thomson, la quale dimostra che, colla nostra disposizione di cose, non possiamo ancora superar la Natura, ma che, se abbiamo un ragguardevole peso sull'embolo, la differenza delle temperature delle due camere dev'essere ragguardevole in proporzione: vale a dire, il punto di congelamento dell'acqua, sotto forte pressione, si troverà a temperatura più bassa di quella a cui si trova, quando la pressione è minore.

Prima di abbandonare questo argomento, dobbiamo far notare ai nostri lettori ciò che realmente accade in tutte le macchine termiche. Non solo il calore produce un effetto meccanico, ma *una determinata quantità di calore cessa di esistere, come calore, producendo il suo equivalente di lavoro.* Se, quindi, dovessimo misurare il puro calore, che si produce in una macchina, per la combustione di una tonnellata di carbone, troveremmo che, quando la macchina lavora, è in minor quantità che quando essa riposa.

Nello stesso modo, quando un gas si espande, la sua temperatura tosto s'abbassa, poichè una certa quantità del

Digitized by Google

suo calore cessa d'esistere, mentre un effetto meccanico si produce.

157. Così, abbiamo cercato di mostrare in quali condizioni il calore assorbito si può convertire in energia meccanica. Ora, sotto questo nome di calore assorbito sono comprese due varietà d'energia [Art. 110]: — un'energia molecolare di movimento, e una di posizione. Vediamo quindi di stabilire in quali circostanze l'una di queste due varietà d'energia si può convertire nell'altra.

È ben noto che si richiede una grande quantità di calore, per fondere un chilogramma di ghiaccio, mentre l'acqua, che si ottiene al fondersi del ghiaccio, non è sensibilmente più calda di esso. Così pure è ben noto che si richiede una grande quantità di calore, per trasformare in vapore un chilogramma d'acqua bollente, mentre il vapore, che si svolge, nell'atto che questa trasformazione si compie, non è a temperatura sensibilmente più alta di quella dell'acqua bollente. — In questi casi si dice che il calore diviene latente.

Ora, nell'uno e nell'altro caso, più ovviamente però nel secondo, si hanno buone ragioni, per supporre che il calore non compia il suo ufficio ordinario, ma spenda la propria energia, nel separare le molecole dell'acqua l'una dall'altra, superando la coesione, che tende a collegarle insieme, in vece d'aumentarne la velocità.

Infatti, sappiamo, come cosa di fatto, che la coesione, sensibile nell'acqua bollente, è apparentemente nulla nel vapor acqueo, poichè ivi le molecole si trovano troppo discoste perchè questa forza agisca in modo apprezzabile. Possiamo quindi supporre che gran parte, al meno, del calore, che si richiede, per trasformar l'acqua in vapore, si spenda nell'eseguire lavoro contro le forze molecolari.

Digitized by Google

Quando il vapore si ricondensa in acqua calda, il calore, così speso, riassume la forma di movimento molecolare; e la conseguenza di ciò è che noi dobbiamo togliere, in qualche modo, da un chilogramma di vapor acqueo tutto il suo calore latente, prima che possiamo trasformarlo in acqua alla temperatura d'ebollizione. Infatti, se il trasformar l'acqua in vapore è un'operazione difficile e lunga, non lo è meno il trasformare il vapore in acqua.

158. In altri casi, oltre i precedenti, vi è, senza dubbio, un lento passaggio dalla separazione molecolare al movimento termico. Così, quando si raffredda subitaneamente un pezzo di vetro, le sue molecole non hanno tempo di disporsi come dovrebbero, epperò tutta la struttura viene ad assumere uno stato, per così dire, violento. Il corpo va poi prendendo, col tempo, uno stato più naturale, e le sue particelle si vanno, a poco a poco, riunendo.

A cagione di ciò, il bulbo di un termometro da poco tempo soffiato lentamente si contrae, e, senz'alcun dubbio, per la stessa cagione, le lagrime bataviche, che si ottengono, lasciando cadere nell'acqua goccie di vetro liquido, quando si rompono, cadono in polvere con una specie di esplosione. Sembra probabile che tutti questi cangiamenti siano accompagnati da svolgimento di calore, e che essi rappresentino la conversione dell'energia di separazione molecolare in quella di moto molecolare.

159. Esaminata così la trasmutazione di [C] in [D] e di [D] in [C], procediamo colla nostra serie, e vediamo in quali condizioni il calore assorbito si trasforma in *separazione chimica.*

È ben noto che certe sostanze, riscaldate, si decompongono; se, per esempio, si riscalda il calcare o carbonato

Digitized by Google

di calce, esso si decompone in acido carbonico, che si svolge, in forma di gas, e in calce viva, che rimane. In questo processo si consuma calore, o, per dir meglio, una certa quantità di energia termica cessa assolutamente d'esistere, *come tale*, per cangiarsi in energia di separazione chimica. Se poi la calce, così ottenuta, si espone, in certe condizioni, a un'atmosfera di acido carbonico, essa a poco a poco, passa allo stato di carbonato; e noi siamo certi che, durante questo cangiamento, [il quale è lentissimo], l'energia di separazione chimica si trasforma nuovamente in energia termica, benchè non possiamo percepire alcun aumento di temperatura, stante la lentezza colla quale il processo si compie.

A una temperatura molto elevata si possono decomporre i diversi corpi composti, per la massima parte: la temperatura a cui ha luogo questa decomposizione si chiama, per ciascun composto, *temperatura di dissociazione.*

160. L'energia termica si cangia in *separazione elettrica*, quando si riscaldano cristalli di tormalina, e di certe altre sostanze.

Prendiamo, per esempio, un cristallo di tormalina, e innalziamone la temperatura; — troveremo che un suo estremo si elettrizza positivamente, mentre l'altro si elettrizza negativamente. Prendiamo ora lo stesso cristallo, e raffreddiamolo rapidamente; — troveremo, in questo caso, un'elettrizzazione di natura opposta a quella della precedente, cosichè quell'estremo dell'asse, che prima dava segni di elettricità positiva, ora ne darà di elettricità negativa. Questa separazione di elettricità implica energia, epperò tali cristalli offrono un caso, in cui l'energia termica si cangia in quella di separazione elettrica. In altre

Digitized by Google

parole, una certa quantità di calore cessa di esistere, *come tale*, mentre si ottiene, in suo luogo, una certa quantità di separazione elettrica.

161. Passiamo ora a considerare in quali condizioni, il calore, si cangia in *elettricità in movimento*. Si ha questa trasmutazione nella termo-elettricità.

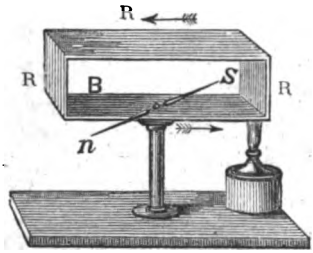


Fig. 12.

Supponiamo d'avere una lamina di rame, o di antimonio, — per esempio di rame, — saldata ad una lamina di bismuto, nel modo che rappresenta la Fig. 12; e riscaldiamo una delle giunture, mentre l'altra rimane alla ordinaria temperatura. Si troverà che una corrente di elettricità positiva prende a circolare intorno alla doppia lamina, nella direzione indicata dalle freccie, procedendo dal bismuto al rame, attraverso la giuntura riscaldata. Se ne potrà riconoscere l'esistenza, mediante un ago magnetico, disposto come si vede nella figura.

Qui abbiamo, allora, un caso in cui l'energia termica cessa d'esistere, per convertirsi in quella che implica una corrente elettrica; e noi possiamo disporre le cose in modo da ottenere, fondato su questo principio, un apparecchio atto a rivelare, con estrema sensibilità, la presenza del calore.

Saldando, per gli estremi, parecchie lamine di bismuto con altrettante di antimonio, nel modo che rappresenta la Fig. 13, e riscaldando la serie superiore delle giunture, mentre si mantiene fredda la serie inferiore, si ottiene una corrente intensa, che procede dal bismuto all'antimonio,

Digitized by Google

attraverso le giunture riscaldate. Si può far passare questa corrente pel filo d'un galvanometro, e così, moltiplicando il numero delle giunture, e impiegando un galvanometro molto delicato, si può avere un effetto abbastanza sensibile, per poco che vengano riscaldate le giunture superiori. Questo apparecchio ha ricevuto il nome di *termopila*, e, congiunto col galvanometro a riflessione, fornisce il mezzo più delicato, che si conosca, per scoprire piccole quantità di calore.

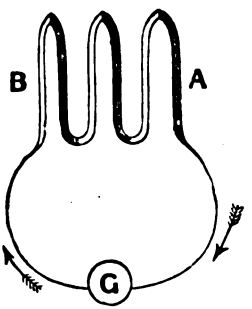


Fig. 13.

162. Chiude la serie delle trasformazioni, che subisce il calore assorbito, la trasformazione di questa specie d'energia in *luce* e *calor raggiante*. Questa trasformazione ha luogo ogniqualvolta un corpo caldo si raffredda nell'aperto spazio; il sole, ad esempio, cede in tal modo gran parte del proprio calore; e ad un tal processo si deve, in parte al meno, il raffreddarsi dei corpi nell'aria, — totalmente, il loro raffreddarsi nel vuoto. Noi non vediamo i corpi caldi per altro che perchè l'energia raggiante penetra nel nostro occhio, e quindi il fatto che noi li vediamo implica che essi perdano del proprio calore.

L'energia raggiante si move per lo spazio colla enorme velocità di 188000 miglia al secondo: essa impiega otto minuti all'incirca, per venire dal sole a noi, così che, se il nostro luminare dovesse estinguersi ad un tratto, dovrebbero passare otto minuti, prima che gli effetti della catastrofe giungessero fino a noi. Oltre i raggi, che si rivelano all'occhio, vi sono raggi, che non si possono vedere, e che, per conseguenza, si chiamano oscuri. Per

Digitized by Google

esempio, un corpo può non essere sufficientemente caldo per essere semiluminoso e, ciò non ostante, raffreddarsi rapidamente, e cangiare il proprio calore in energia raggiante, che viene emessa, sebbene nè l'occhio nè il tatto abbiano potere di scoprirla; — però se ne potrà riconoscere l'esistenza, impiegando la termopila, che fu descritta nell'art. 161. Vediamo, così, quanto grande analogia vi è tra un corpo caldo e un corpo sonoro. Nel modo stesso che quest'ultimo trasmette parte dell'energia, che implicano le sue vibrazioni sonore, all'atmosfera, che lo circonda, il primo trasmette al mezzo etereo, che lo circonda, parte dell'energia, che implica il suo calore. Se, tuttavia, ci facciamo a paragonare le velocità con cui si movono le due specie di energia, nei rispettivi mezzi, troviamo, fra l'una e l'altra, una gran differenza: poichè il suono si move nell'aria colla velocità di 1100 piedi al secondo, mentre l'energia raggiante percorre, in questo stesso tempo, non meno di 188000 miglia.

Separazione chimica.

163. Veniamo ora a quella specie di energia, che è rappresentata dalla separazione chimica, — quella che possediamo, quando abbiamo carbone, da una parte, e ossigeno, dall'altra. Nel modo più evidente, questa forma di energia di posizione si converte in *calore,* quando si abbrucia il carbone, facendolo combinare coll'ossigeno dell'aria. In generale, vi è produzione di calore ogniqualvolta ha luogo una combinazione chimica, quantunque varie circostanze possano intervenire, così da impedirci di riconoscerla.

Giusta il principio della conservazione, possiamo aspet-

Digitized by Google

tarci che, quando una quantità definita di carbonio o di idrogeno viene abbruciata, in certe condizioni, vi sarà una determinata produzion di calore; in altre parole, una tonnellata di carbone, o di coke, abbruciando, emetterà sempre lo stesso numero di unità di calore. Noi possiamo, senza dubbio, abbruciare la nostra tonnellata in tal modo da utilizzare più o meno il calore, che si svolge; ma per ciò che risguarda la produzione del calore, ogniqualvolta la qualità e la quantità del materiale abbruciato, e le condizioni della combustione saranno le stesse, dobbiamo aspettarci di ottenere la stessa quantità di calore.

164. La tavola seguente, tratta delle ricerche di Andrews e da quelle di Favre e Silbermann, mostra quante unità di calore possiamo ottenere, abbruciando un chilogramma di diverse sostanze.

UNITÀ *di* CALORE *svolte dalla combustione nell'*OSSIGENO.

Sostanza abbruciata	Numero di chilogrammi d'acqua la cui temperatura s'innalza di 1° C per la combustione di un chilogramma di ciascuna sostanza.
Idrogeno	34135
Carbonio	7990
Solfo	2263
Fosforo	5747
Zinco	1301
Ferro	1576
Stagno	1233
Gas olefico	11900
Alcool	7016

Digitized by Google

165. Le combinazioni chimiche possono aver luogo in modi diversi dalla combustione.

Immersa, per esempio, una lamina di ferro metallico nella soluzione di un sale di rame, quando la si estrae, se ne ritrova la superficie tutta ricoperta di rame. Parte del ferro si è disciolta ed è andata al posto del rame, che quindi si è deposto, in condizione metallica, sulla superficie della lamina. In questa reazione si svolge calore: — infatti, si abbrucia, ossia si ossida, il ferro; e noi possiamo ordinare i diversi metalli in serie, cominciando dal metallo, che provoca il maggior svolgimento di calore, spostando quello che si prende per ultimo termine della serie.

166. La seguente serie è stata formata su questo principio dal Dr. Andrews.

1. Zinco.
2. Ferro.
3. Piombo.
4. Rame.
5. Mercurio.
6. Argento.
7. Platino.

ciò che val quanto dire che il metallo platino può essere spostato da ciascun altro metallo della serie, ma la maggior quantità di calore si ottiene, adoperando per ispostarlo il zinco.

Di qui possiamo presumere che, spostando una certa quantità di platino, mediante una certa quantità di zinco, otterremo una determinata quantità di calore. Supponiamo, tuttavia, che in vece di compire questa operazione in un sol passo, la compiamo in due. Prima di tutto, per esempio, spostiamo, mediante il zinco, il rame, e poi, mediante il rame, spostiamo il platino. Non è possibile che l'uno di

Digitized by Google

questi processi dia più calore dell'altro? Ora, Andrews ha mostrato che non possiamo in questo modo ottenere nessun vantaggio sulla natura, poichè se, prima di tutto, adoperiamo il zinco per spostare ferro, rame, o piombo, e spostiamo poi il platino, mediante uno di questi metalli, otteniamo precisamente la stessa quantità di calore, che otterremmo, adoperando il zinco per spostare il platino, direttamente.

167. Dobbiamo qui osservare che assai sovente le reazioni chimiche sono accompagnate da un cangiamento di condizioni molecolari.

In seguito ad una reazione chimica, un corpo può passare dallo stato solido allo stato liquido, o a quest'ultimo dallo stato gasoso. Talvolta l'effetto d'un cangiamento copre quello dell'altro, per ciò che risguarda il calore che si manifesta; talvolta, in vece, gli effetti dei diversi cangiamenti cooperano a rendere più saliente il risultato. Così, quando un gas viene assorbito dall'acqua, si svolge molto calore, che si può ammettere dovuto, in parte, alla combinazione chimica, e in parte alle condensazione del gas in liquido, con che si rende sensibile tutto il suo calore latente. D'altra parte, quando un liquido si unisce con un solido, e quando due solidi si uniscono, l'uno coll'altro, mentre si ottiene un prodotto liquido, abbiamo spesso assorbimento di calore, rendendosi latente, per la fusione, una quantità di calore maggiore di quella che la combinazione produce. Le miscele frigorifiche devono a ciò la loro proprietà refrigerante; così, quando si mescolano insieme neve e sal comune, essi, agendo l'uno sull'altro, si fondono, e si ottiene un'acqua salata, la temperatura della quale è inferiore a quella di ciascuno dei due corpi mescolati insieme.

Digitized by Google

168. Quando si saldano insieme metalli eterogenei, come il zinco e il rame, sembra prodursi una conversione della energia di separazione chimica in quella di *separazione elettrica*. Questa conversione fu primamente suggerita dal Volta come origine della separazione elettrica, che si trova nella pila; e Guglielmo Thomson, in questi ultimi tempi, ne dimostrò chiaramente l'esistenza.

Per rendere manifesta questa conversione dell'energia, saldiamo una lamina di zinco con una di rame: assaggiando l'una e l'altra lamina, con un sensibile elettrometro, troveremo il zinco elettrizzato positivamente, il rame negativamente. Qui, dunque, una forma di energia di posizione si trasforma in un'altra, — scomparendo una certa quantità di energia di separazione chimica, per produrre una quantità corrispondente di energia di separazione elettrica. Così, si spiega il fatto osservato nell'Art. 93, dove abbiamo visto che, se si mantiene isolata una pila, e se ne tengono separati i poli, l'uno si trova caricato di elettricità positiva, l'altro di elettricità negativa.

169. Quando poi una pila voltaica è in azione, abbiamo una trasmutazione di separazione elettrica in *elettricità in movimento*. Per veder ciò, consideriamo ciò che accade in una pila.

Qui, senza dubbio, sorgenti dell'eccitazione elettrica sono i punti di contatto del zinco col platino, dove la separazione elettrica si produce, per ciò che sappiamo dall'articolo precedente. Ma questa separazione non potrebbe, per sè, produrre una corrente, poichè una corrente implica una energia ragguardevolissima, e quindi dev'essere alimentata da qualche cosa. Ora, nella pila si hanno due fatti concomitanti, che manifestamente sono connessi l'uno

Digitized by Google

coll'altro; — si ha, in primo luogo la combustione, ossia l'ossidazione e la dissoluzione del zinco, e in secondo luogo, la produzione d'una efficace corrente. Evidentemente, è la combustione che alimenta la corrente, o, in altre parole, l'energia di separazione chimica del zinco metallico si trasmuta in quella che implica la corrente elettrica, mentre il zinco, in certo qual modo, abbrucia.

170. Finalmente, per ciò che sappiamo, l'energia di separazione chimica non si trasmuta direttamente in luce e calor raggiante.

Separazione elettrica.

171. In primo luogo, l'energia di separazione elettrica si trasmuta in quella di *moto visibile,* quando due corpi oppostamente elettrizzati si avvicinano, l'uno all'altro.

172. La separazione elettrica si converte poi in *corrente elettrica,* e, per ultimo, in calore, quando fra due corpi oppostamente elettrizzati scocca una scintilla.

Però, bisogna mettersi in mente che, quando appare la scintilla, non vi è più elettricità: ciò che allora si vede non essendo che aria, o qualche altra sostanza, intensamente riscaldata dalla scarica. Così, può darsi che un uomo sia reso insensibile dallo scoppio d'un fulmine, senza che ne veda il bagliore; poichè l'effetto sull' uomo e l' azione riscaldante sull'aria sono fenomeni così pressochè simultanei che l'uomo può perdere la sensibilità, prima di percepire il lampo.

Digitized by Google

Elettricità in movimento.

173. L'energia, che corrisponde alla elettricità in movimento, si trasforma in quella di *moto visibile*, quando due fili, che trasmettono correnti elettriche, aventi la stessa direzione, mutuamente si attraggono. Così, due correnti circolari, trasmesse da circuiti galleggianti sull'acqua, se avranno, entrambe, la direzione degli indici di un orologio, — per ciò che abbiamo veduto nell'Art. 100, — si moveranno, l'una verso l'altra. Ora, l'intensità di ciascuna corrente, nell'atto che si genera il moto, realmente diminuisce; sappiamo infatti, [Art. 104] che in un circuito, che si move in presenza di un altro, per cui passa una corrente, si produce, per induzione, una corrente contraria a questa. Concludiamo, dunque, che, quando due correnti egualmente dirette si avvicinano, per effetto di tale azione induttiva, diminuiscono, ciascuna, — ossia, una certa quantità di energia di corrente cessa di esistere, per produrre la quantità equivalente di energia di moto visibile.

174. L'elettricità in movimento si trasforma in *calore*, quando una corrente passa per un filo sottile o per qualche sostanza di cattiva conduttività; — il filo, per conseguenza, si riscalda, e può fino diventare incandescente. La maggior parte delle volte, l'energia della corrente elettrica si spende nel riscaldare i fili metallici, e i diversi apparecchi, che costituiscono il circuito. Ora, questa energia è alimentata dalla combustione, ossia dalla ossidazione, del metallo, che si impiega nella pila, e che generalmente è zinco: così, l'effetto definitivo di questa combustione è di riscaldare i varii fili metallici e i diversi apparecchi, che la corrente attraversa.

Digitized by Google

175. In due modi possiamo abbruciare, ovvero ossidare, il zinco; — possiamo ossidarlo in una pila voltaica, nel modo che abbiamo veduto, e troviamo allora che, per la combustione di un chilogramma di zinco, si svolge una determinata quantità di calore. Ma ben possiamo ossidare il nostro zinco col discioglierlo nell'acido, in un semplice vaso: allora, senza passare per la corrente, come processo intermedio, otteniamo, per la ossidazione di un chilogramma, tanto calore quanto ne ottenevamo nel primo caso.

Infatti, la quantità di calore, che si svolge, per la ossidazione del zinco, presenta la stessa relazione colla quantità di metallo, che si discioglie, così se l'ossidazione si fa nella pila, come se si fa nel modo ordinario. La sola differenza consiste in ciò che, se si impiega il secondo modo, il calore si svolge nel vaso, che contiene il metallo e l'acido, mentre, se si impiega il primo, esso potrà manifestarsi mille miglia lontano, purchè vi siano fili abbastanza lunghi per trasportar la corrente.

176. Questo è forse il luogo più opportuno per parlare della scoperta fatta da Peltier che una corrente di elettricità positiva, passando per la giuntura di una lamina di bismuto con una di antimonio, diretta dal bismuto all'antimonio, sembra che generi freddo.

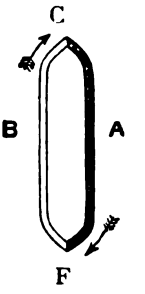


Fig. 14.

Per ben comprendere il significato di questo fatto, dobbiamo considerare la sua connessione colla corrente termoelettrica, che abbiamo veduto [Art. 161] stabilirsi in un circuito formato da una lamina di bismuto e d'una d'antimonio, dove una giuntura era più calda dell'altra. Però, supponiamo d'avere un circuito di questo genere, le cui giunture

Digitized by Google

siano, al principio, entrambe alla temperatura di 100° C. — Mantenendo riparata una giuntura, esponiamo l'altra all'aria aperta; — questa perderà necessariamente calore, e la prima si troverà ben tosto più calda di essa. Come conseguenza di ciò, [Art. 161] una corrente positiva prenderà a passare per la giuntura riparata, diretta dal bismuto all'antimonio.

Qui, a tutta prima, pare che si abbia un'anomalia; poichè mentre il circuito, raffreddandosi, va perdendo energia, una certa quantità se ne manifesta sotto un'altra forma: — sotto quella, cioè, di una corrente elettrica, che percorre il circuito. È chiaro, allora, che parte del calore del circuito si deve spendere nel produr la corrente: in fatti, ben possiamo aspettarci che il circuito agisca come una macchina termica, producendo, soltanto, energia di corrente, in luogo d'energia meccanica, e che vi sia un trasporto di calore dalle regioni più calde alle più fredde. Ora, questo accade appunto, per effetto della corrente: infatti, poichè passa per la giuntura più calda nella direzione della freccia, essa raffredda questa giuntura, e riscalda, in F, quella che si trova a più bassa temperatura, trasportando, per così dire, il calore, dalle parti più calde del circuito, alle più fredde. Ben avremmo da meravigliarci, se la corrente raffreddasse F e riscaldasse C, poichè, in tal caso, si avrebbe una manifestazione d'energia di corrente, mentre si trasporterebbe calore da un corpo ad uno la cui temperatura è più alta, ciò che urta col principio dell'art. 152.

177. Finalmente, l'energia della elettricità in movimento si converte in quella che implica la *separazione chimica*, quando si fa decomporre da una corrente qualche sostanza.

Digitized by Google

La corrente spende in questo processo parte della propria energia, e dà, per conseguenza, una quantità di calore corrispondentemente minore. Supponiamo, per esempio, che nelle condizioni ordinarie, ossidando in una pila una certa quantità di zinco, si ottengano 100 unità di calore. Adoperiamo la corrente della pila per decomporre l'acqua, e troveremo, probabilmente, che, per la ossidazione della stessa quantità di zinco, non si ottengono più che 80 unità di calore. Evidentemente, le 20 unità mancanti si saranno spese nel decomporre l'acqua. Ora, se faremo esplodere la miscela dei due gas, risultati dalla decomposizione, riavremo precisamente queste 20 unità di calore, nè più nè meno, — manifesta prova che, fra tutte queste trasformazioni, si mantiene sempre la stessa quantità d'energia.

Energia raggiante.

178. L'energia raggiante si trasforma in *calore assorbito*, quando incontra un corpo opaco: generalmente, parte di essa è rimandata per riflessione, — il resto viene assorbito dal corpo, che, per conseguenza, si riscalda.

È una questione curiosa il cercare che cosa accade della luce irradiata dal sole, che non è assorbita nè dai pianeti del nostro sistema, nè da alcun altro corpo celeste. Intorno a tal questione, altro non possiamo dire che, *per ciò che risulta dalle nostre cognizioni attuali*, bisogna ammettere che l'energia raggiante, che non è assorbita, va traversando gli spazii colla velocità di 188000 miglia al secondo.

179. Non conosciamo che un'altra trasformazione, che può subire l'energia raggiante: quella che subisce, quando

Digitized by Google

provoca la *separazione chimica*. Così, si sa che certi raggi del sole hanno il potere di decomporre il cloruro d'argento, e diversi altri composti. In tutti questi casi vi è una trasmutazione dell' energia raggiante in quella che implica la separazione chimica. I raggi del sole decompongono pure l'acido carbonico, nelle foglie delle piante, onde il carbonio va a formare le fibre del legno, mentre l'ossigeno si svolge libero nell'aria; parte dell'energia dei raggi solari si spende, di necessità, nel produrre questa alterazione, e l'effetto calorifico del sole si trova, per conseguenza, proporzionalmente diminuito.

Però non tutti i raggi solari possiedono tal facoltà, — la proprietà di produrre modificazioni chimiche non appartenendo che ai raggi azzurri, ai violetti, e ad alcuni altri, che non sono visibili. Ora, questi raggi mancano completamente nelle radiazioni dei corpi a temperatura relativamente bassa, come sarebbe quella d' un calor rosso non molto intenso: così, riuscirebbe impossibile ad un fotografo ottenere l'immagine di un corpo rovente, il quale non fosse rischiarato d' altra luce che dalla propria.

180. I raggi attinici, o chimici, del sole decompongono l'acido carbonico, nelle foglie delle piante, e quindi spariscono assorbiti; questa può essere una ragione perchè le foglie rischiarate dal sole non possono riflettere e trasmettere che ben pochi raggi di tal natura, in conseguenza di che, il fotografo trova difficile ottenere l'immagine di esse. In altre parole, i raggi, che dovrebbero produrre l'alterazione chimica, sulla lastra fotografica, sono impiegati dalle foglie per fini speciali.

181. Giova osservare che, mentre gli animali, nell'atto della respirazione, consumano l'ossigeno dell'aria, produ-

Digitized by Google

cendo acido carbonico, le piante, d'altra parte, restituiscono l'ossigeno all'aria; così, i due regni, animale e vegetale, agiscono di concerto, e si mantiene la purezza dell'atmosfera.

Digitized by Google

CAPITOLO QUINTO.

SGUARDO STORICO — LA DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA.

182. Nel capitolo precedente abbiamo cercato di esporre le varie trasformazioni, che subisce l'energia, e di mettere in evidenza i fatti, che appoggiano la teoria della conservazione, mostrando com'essa ci metta in grado di connettere insieme leggi conosciute e di scoprirne di nuove, — mostrando, insomma, come abbia tutti i caratteri di un'ipotesi vera.

Ora, potrà essere istruttivo volgere uno sguardo indietro, e veder di seguire il progresso di questa grande idea, dall'origine, ch'ebbe fra gli antichi, fino al trionfo, che ottenne, dietro i lavori di Joule e de' collaboratori di lui.

183. I matematici dicono che, se i corpi consistono di atomi o particelle, sollecitate da forze, le quali non dipendono che dalla mutua distanza di esse, e nulla dalle loro velocità, si può dimostrare che deve stare necessariamente la legge della conservazione dell'energia. Si vede, così, che i concetti, che risguardano gli atomi e le loro forze sono collegati con quelli che risguardano l'energia. Sembra pure necessaria alla nostra teoria l'esistenza di un

Digitized by Google

mezzo, che riempie tutto lo spazio. Finalmente, un universo composto d'atomi, fra i quali si trova un mezzo di certa natura, si deve considerare come una macchina; e come le leggi, che reggono il lavorio di siffatta macchina, devonsi considerare le leggi dell'energia. Può darsi che questa teoria degli atomi, con un certo mezzo tra essi, non sia dopo tutto, la più semplice; ma, probabilmente, non siamo ancora in grado di fare un' ipotesi più generale. Del resto, non abbiamo che da gettare uno sguardo sul sistema solare, per vedere, in grande, un' illustrazione di questo concetto; ivi, infatti, i diversi corpi celesti si attraggono mutuamente, con forze, che dipendono solamente dalla distanza, nulla dalla velocità; e, un certo mezzo, vi è pure, il quale trasporta l' energia raggiante dal sole alla terra. Forse, non si sbaglia di molto, immaginando che la molecola rappresenti, in piccolo, qualche cosa di simile al sistema solare, e paragonando ai diversi corpi del sistema stesso i diversi atomi, che la costituiscono. Quindi, nel breve sguardo storico, che passiamo a dare, occupandoci dell' energia, ci occuperemo del progresso dei concetti e delle considerazioni sugli atomi e sul mezzo, poichè strettamente si collegano colle dottrine dell'energia.

Idee di Eraclito sull' Energia.

184. Eraclito, che visse ad Efeso 500 anni I. C., dichiarò che il fuoco era la gran causa e che tutto era in perpetuo flusso. Senza dubbio, tale espressione appare ben vaga in questi tempi, in cui i principii della fisica si stabiliscono con tanta precisione; pure, si può vedere da ciò che Era-

Digitized by Google

clito deve aver avuto un vivo concetto dello stato d'agitazione continua e dell'energia dell'universo: concetto, che, pel suo carattere, si collega con quello dei moderni filosofi, che considerano la materia come essenzialmente dinamica, e solamente meno preciso di esso.

Idee di Democrito sugli Atomi.

185. Democrito, nato 470 anni I. C., pose i fondamenti della dottrina degli atomi, che, per opera di Giovanni Dalton, ha reso la mente umana capace di penetrare le leggi, che reggono le trasformazioni chimiche, e di farsi un'immagine di ciò che in esse deve accadere. Forse, non v'è dottrina, oggidì, che abbia maggior relazione di quella degli atomi colle industrie umane; e probabilmente non vi è, fra le nazioni civili, nessun intelligente direttore di chimiche industrie, il quale, mediante questa dottrina, non sappia presentarsi alla mente l'intima natura delle trasformazioni, che si vede succedere, innanzi agli occhi. Ora, è curioso che Bacone si sia posato su qnesta istessa dottrina degli atomi, per esporre uno de' principii della sua filosofia.

« Non è minor male » [egli dice] « che gli uomini s'af-
« fatichino, nelle loro indagini filosofiche e nelle loro con-
« templazioni, a investigare e a trattare i principii ultimi
« delle cose e gli estremi limiti della natura, mentre tutto
« ciò che è utile e praticamente profittevole si deve tro-
« vare in ciò ch'è intermedio. Così, avviene che gli uomini
« seguitino a fare astrazioni sulla Natura, finchè arrivano
« ad una materia potenziale, elementare; e, similmente,
« la Natura seguitano a dividere, finchè arrivano all'a-

Digitized by Google

« tomo: cose, che, se pure esistono, ben poco possono « servire a sollevare le sorti dell'umanità. »

Certamente, queste osservazioni del gran padre della scienza sperimentale ci devono insegnare ad essere ben cauti, prima di abbandonare un ramo di cognizioni o un ordine di idee, come essenzialmente non suscettibile di utili applicazioni.

Idee d'Aristotile sul Mezzo.

186. Per ciò che risguarda l'esistenza del mezzo, Whewell nota che agli antichi dev'essere, certamente, balenata l'idea di un mezzo, in virtù del quale si percepissero le qualità dei corpi, come i suoni e i colori; egli cita le seguenti parole di Aristotile: —

« Nel vuoto non vi può essere differenza fra alto e basso: « poichè, come non vi sono differenze nel nulla, non ve « ne sono nella privazione e nella negazione. »

A proposito di ciò, lo storico della scienza osserva che « facilmente si vede come un tal modo di ragionare innalzi il famigliare linguaggio e l'intellettuale connessione dei vocaboli ad una superiorità sui fatti. »

Nondimeno, non si può negare che noi deriviamo le idee, che abbiamo intorno alla materia, dalla quotidiana esperienza che certe porzioni di spazio producono sui nostri sensi una certa impressione; per conseguenza, non abbiamo diritto di dire che qualche cosa vi dev'essere dovunque notiamo una differenza fra alto e basso? E questo argomento differisce poi molto da quello che i moderni fisici portano, in favore del pieno, dicendo che la materia non può agire dove materia non vi è?

Digitized by Google

Pare che Aristotile abbia avuto pure l'idea che la luce non fosse nè un corpo, nè l'emanazione di un corpo, [la quale, com'egli dice, non potrebbe essere che materia]; pare quindi ch'egli abbia avuto l'idea che la luce fosse una energia, un atto.

Le idee degli antichi non furono feconde.

187. Queste citazioni ci mettono in evidenza che gli antichi concepirono, in certo qual modo, l'idea dello stato d'agitazione e dell'energia inerente all'universo. Essi ebbero anche l'idea di particelle, d'atomi, e finalmente quella di un mezzo di qualche specie. Pure, queste idee non furono feconde, e non diedero origine a nulla di nuovo.

Così, se lo storico della scienza pronuncia sugli antichi un giudizio inappuntabile, dicendo che le loro idee non furono nè chiare nè appropriate ai fatti, pure, abbiamo veduto che essi non ignorarono completamente i principii più profondi e più nascosti dell'universo materiale. Le note fondamentali del grande inno della Natura furono presto sentite, ma, si dovette pazientemente aspettare che passassero molti secoli, prima che l'orecchio esperto d'un maestro ne apprezzasse, a dovere, la potente armonia. Forse, i tentativi degli antichi furono come gli schizzi di un fanciullo, che cerca di mostrare, come può, i contorni di un edificio; in vece, i concetti degli esperti fisici sono più simili a quelli di un architetto, o, almeno, d'uno che realizza, fino ad un certo punto, le viste d'un architetto.

188. Gli antichi ebbero grande genio e potente intelletto, ma, mancarono di concetti sperimentali, e, per conseguenza, le loro idee non furono feconde. Certamente, non

Digitized by Google

si può dire che l'età presente ne manchi; tuttavia, si può far la questione se ora non vi è una tendenza a cadere nell'estremo opposto, e a troppo lavorare sui concetti sperimentali. Bisogna andar cauti nell'evitare Scilla, per non precipitare in Cariddi. Infatti, l'universo offre più d'un punto di vista, e può darsi che vi siano regioni, le quali non riveleranno i loro tesori al fisico più preciso, armato soltanto di chilogrammi, di metri e di cronometri.

Idee di Descartes, di Newton e di Huyghens sul Mezzo.

189. Nei tempi moderni, Descartes, autore della ipotesi dei vortici, presuppose, necessariamente, l'esistenza di un mezzo negli spazii interplanetari, ma, d'altra parte, fu uno dei fondatori dell'ipotesi che la luce sia costituita da una serie di particelle, lanciate dai corpi luminosi. Newton credeva, similmente, nell'esistenza di un mezzo, sebbene sostenesse la teoria dell'emissione. Si deve ad Huyghens d'aver concepito, pel primo, la teoria ondulatoria della luce, con bastante chiarezza per render ragione della doppia rifrazione. Dopo di lui, Young, Fresnel e i loro seguaci svilupparono grandemente questa teoria, rendendola atta a spiegare i fenomeni più mirabili e più complicati.

Idee di Bacone sul Calore.

190. Quanto alla natura del calore, si vede chiaramente che Bacone, checchè si possa pensare de' suoi argomenti, riconobbe come il calore sia una specie di movimento. Egli dice: — « Da questi esempi, considerati insieme e individualmente, la natura, limitazione della quale è il calore,

Digitized by Google

pare essere movimento [1]. » Poi soggiunge: « Quando abbiamo detto del movimento, che è *genere* per rispetto al calore, non abbiamo inteso di asserire che il calore generi movimento, o che il movimento generi calore [sebbene l'una e l'altra cosa possano verificarsi in certi casi], ma, bensì, che il calore, per essenza, è movimento e null'altro [2]. »

Nondimeno, dovettero passare quasi tre secoli ancora, prima che la vera teoria del calore ponesse radici abbastanza salde, per svolgersi in una produttiva ipotesi.

Principio delle velocità virtuali.

191. In uno dei capitoli precedenti abbiamo trattato dei lavori sul calore di Davy, di Rumford e di Joule. Galileo e Newton, se non arrivarono a comprendere la natura dinamica del calore, ebbero un lucido concetto di ciò che fanno le macchine. Il primo vide che ciò che si guadagna in forza si perde in spazio; il secondo si avanzò di più, e vide che una macchina, per sè, non può compire che una quantità di lavoro rigorosamente determinata, quantunque la sua energia possa passare dallo stato d'energia di posizione a quello d'energia di moto, e viceversa, a norma delle leggi matematiche, che la governano.

[1] Per universas et singulas instantias, Natura, cuius limitatio est Calor, videtur esse Motus.

[2] Intelligatur hoc quod diximus de Motu [nempe ut sit instar Generis ad Calorem] non quod Calor generet Motum, aut quod Motus generet Calorem [licet et haec in aliquibus vera sint], sed quod ipsissimus Calor, sive *Quidipsum* Caloris, sit motus, et nihil aliud.

Bacone, Novum Organum. Liber II. Aphor. XX. *Vind. prima de Forma Calidi.*

Digitized by Google

Sviluppo di giuste idee sul lavoro.

192. Io credo che non si possa mettere in dubbio che lo sviluppo, ch' ebbe l' industria nella presente età, abbia, indirettamente, fatto progredire le nostre idee sul lavoro. L' uomo ha sempre cercato di sottrarsi, più che fosse possibile, ai lavori faticosi. Nei tempi antichi, quelli che avevano mezzi acquistavano schiavi, per farli lavorare per sè; ed anche allora, il padrone doveva dar qualche cosa di equivalente al lavoro, che si faceva. Infatti, preso dal punto di vista più basso, uno schiavo è una macchina: bisogna che sia alimentato: ed è poi tale da mostrarsi una macchina ben cattiva, ove non sia convenientemente trattato. I grandi miglioramenti, che furono introdotti da Watt nelle macchine a vapore, non meno, forse, dell' abolizione della schiavitù, sollevarono l'uomo costretto a lavorare. I lavori più duri furono imposti a spalle di ferro, che non patiscono; per conseguenza, l' industria immensamente si estese, e di molto migliorarono le condizioni delle ultime classi della società. Ma, se abbiamo affidato alle macchine i lavori più duri, ci diventa necessario di sapere ciò che possiamo pretendere da una macchina, e come dobbiamo esprimerci nel chiedere ad essa: — Con qual rapidità puoi lavorare? — quanto lavoro puoi eseguire al giorno? — Insomma, diventa necessario di avere la più chiara idea, che aver si possa, di ciò che è lavoro.

I nostri lettori vedranno, da tutto ciò, che non è verosimile che gli uomini abbiano errato nel metodo di misurare il lavoro. I principii del metodo di misurare furono impressi, come da un ferro rovente, nel cuore e nel cervello

Digitized by Google

dell'umanità. Uno che impieghi l'opera delle macchine o quella dell'uomo, in un falso metodo di valutare il lavoro, non può veder altro che la propria ruina: per conseguenza, è ben probabile ch'egli ponga tutte le cure, per ottenere, nelle sue determinazioni, la maggior precisione.

Del Moto Perpetuo.

193. Ora, dalla folla di coloro, che sono costretti a lavorare, e che il lavoro molesta, sorge, di tanto in tanto, qualche visionario, che cerca di sottrarsi, mediante un artifizio, alla insopportabile tirannia del lavoro. — Perchè mai non si potrà costruire una macchina, che dia una quantità illimitata di lavoro, senza che sia necessario d'alimentarla in qualche modo? — La Natura deve avere qualche punto debole nella sua armatura: vi dev'essere, senza dubbio, qualche modo di vincerla: essa non si mostra dura che a tutta prima, e per stimolare il nostro ingegno; ma cede poi volontieri all'insistenza del genio.

Ora, perchè lo scienziato può qualificare per un visionario chi pensa a costruire tal macchina? Egli non può dire di conoscere profondamente tutte le forze della Natura: non può dimostrare che il moto perpetuo è impossibile; infatti, egli sa ben poco intorno a queste forze. Ma, lo scienziato ha la convinzione d'aver penetrato lo spirito e i disegni della Natura, e, per questo, nega, a tutta prima, che una tal macchina sia possibile. La sua negazione è ragionata e da essa egli ricava una teoria, che lo mette in grado di scoprire, fra le diverse proprietà della materia, numerose relazioni, che si possono verificare coll'esperimento: ne deduce, infatti, la legge dell'energia e il grande principio della conservazione.

Digitized by Google

La teoria della conservazione.

194. Così, abbiamo cercato di dare un rapido sguardo alla storia dell'energia, comprendendovi quella delle questioni, che hanno relazione con essa, dall'alba del periodo strettamente scientifico. Abbiamo veduto come le viste degli antichi non arrecarono alcun frutto, per mancanza di chiarezza nei concetti; ora, dobbiamo dire qualche parola sulla teoria della conservazione.

Qui, la strada fu aperta da due fisici, — Grove, in Inghilterra, e Mayer, in Germania, — i quali mostrarono come certe relazioni esistano tra le varie forme d'energia; il nome di Seguin vuol essere, similmente, ricordato. Tuttavia, spetta a Joule l'onore di avere stabilito questa teoria, sopra una base incrollabile: infatti, questo è, per eccellenza, un caso in cui le considerazioni devono essere comprovate da prove sperimentali, inappuntabili. Tanta è la grandezza di questo principio, e così grande è la sua importanza, che bisognava che la potente favilla del genio s'unisse al paziente lavoro di un sapiente sperimentatore, per trarre dal metallo informe un'arme potente, che dovesse aprirsi la via attraverso tutti gli ostacoli, fino a penetrare nel forte della Natura, e ne' suoi più secreti recessi.

Subito dopo i lavori di Joule, troviamo quelli di Guglielmo e di Giacomo Thomson, di Helmholtz, di Rankine, di Clausius, di Tait, di Andrews, di Maxwell, che, con molti altri, fecero progredire questo soggetto. Mentre Joule si dedicò specialmente alle leggi, che governano la trasmutazione dell'energia meccanica in energia termica, Thomson, Ran-

Digitized by Google

kine e Clausius si dedicarono più specialmente al problema inverso, ossia, alla trasmutazione dell' energia termica in energia meccanica. Thomson, in particolare, si è spinto così arditamente nel considerare le cose da questo punto di vista che arrivò alla conoscenza di un principio, poco meno importante del principio stesso della conservazione dell'energia: di questo principio dobbiamo ora parlare.

Della Dissipazione dell' Energia.

195. Abbiamo detto che Joule trovò la legge secondo la quale il lavoro si può convertire in calore, e che Thomson ed altri trovarono quella secondo la quale il calore si può convertire in lavoro. Ora, Thomson osservò che vi è tra queste due leggi una differenza di grande importanza, poichè, mentre, con tutta facilità, si può convertire il lavoro in calore, non si può, in nessun modo che sia in nostro potere, convertire di nuovo tutto il calore in lavoro. Insomma, il processo non è punto reversibile, ed in conseguenza di ciò, l'energia meccanica dell' universo si va trasformando sempre più in calore.

Facilmente si vede che, se il processo fosse reversibile, non sarebbe impossibile una specie di movimento perpetuo. Infatti, senza cercare di crear l'energia, mediante una macchina, tutto ciò che bisognerebbe conoscere, per avere un moto perpetuo, sarebbe il modo di utilizzare le grandi quantità di calore, che si trovano immagazzinate nei corpi, che ne circondano, e di convertirle in tanto lavoro. Il lavoro, mediante l'attrito ed altre azioni, tornerebbe, senza dubbio, a trasformarsi in calore; ma, se il processo fosse reversibile, questo calore potrebbe essere trasformato nuo-

Digitized by Google

vamente in lavoro, e sempre così. L'irreversibilità del processo impedisce tutto ciò. Infatti, collo stropicciare un bottone metallico, contro un pezzo di legno, io mi posso tosto convincere della facilità con cui il lavoro si può cangiare in calore, mentre la mente non mi sa suggerire alcun metodo per cangiar questo calore nuovamente in lavoro.

Ora, se l'energia con tal processo, si va trasformando, e sempre in un senso, non vi può essere dubbio sul risultato al quale si dovrà giungere. L'energia meccanica dell'universo si convertirà, sempre più, in calore, universalmente diffuso finchè l'universo non potrà più essere conveniente dimora ad esseri viventi.

Questa conclusione ha in sè qualche cosa di terribile; — perchè i nostri lettori possano vederla più distintamente, passiamo a riconoscere quali sono le forme di energia utile che abbiamo, attualmente, a nostra disposizione, e indaghiamo, nel tempo stesso, quali sono le prime sorgenti, che le forniscono.

Energie naturali e loro sorgenti.

196. D'energia di posizione abbiamo le seguenti varietà: [1]. L'energia dei combustibili. [2]. Quella degli alimenti. [3]. Quella di una massa d'acqua posta in alto. [4]. Quella che si può ricavare dalle maree. [5]. Quella, finalmente, dovuta alla separazione chimica, che implicano il solfo nativo, il ferro nativo ecc.

Quanto, poi, all'energia attuale, le principali varietà che abbiamo di essa sono le seguenti:

[1]. L'energia dell'aria in moto. [2]. Quella dell'acqua in moto

Digitized by Google

Dei combustibili.

197. Incominciamo coll'energia, che implicano i combustibili. — Noi possiamo abbruciare i combustibili, ossia farli combinare coll'ossigeno dell'aria; così ci procuriamo grandi quantità di calore, mediante le quali possiamo, non soltanto riscaldarci e cuocere le nostre vivande, ma far agire una macchina a vapore, impiegandole come sorgenti di forza meccanica.

Vi sono due specie di combustibili — il legno e il carbone. Ora, se ci facciamo a considerare l'origine del legno e del carbone, troviamo che la formazione d'entrambi è dovuta ai raggi solari. Alcuni di questi raggi, come abbiamo veduto [Art. 180], decompongono l'acido carbonico nelle foglie delle piante, mettendo in libertà l'ossigeno, mentre il carbonio s'impiega a formare il legno della pianta. L'energia di quei raggi si spende in questa operazione; e, infatti, non ne viene riflessa una quantità sufficiente per produrre una buona immagine fotografica delle foglie, perchè quasi tutta si spende nel formare il legno.

Vediamo, così, che l'energia, che implica il legno, deriva dai raggi solari; ora, sul carbone si possono fare le stesse osservazioni che abbiamo fatto sul legno. Infatti, fra il legno e il carbone non vi è che una differenza d'età, poichè il legno è opera recentemente uscita dal laboratorio della Natura, mentre migliaia d'anni sono passate dal tempo in cui il carbone formava le foglie di vegetali viventi.

198. Quindi, possiamo dire con tutta ragione che l'energia dei combustibili deriva dai raggi solari [1], e che il car-

[1] Sembra che Herschel e Stephenson seniore, prevenendo i tempi, abbiano conosciuto questo fatto.

Digitized by Google

bone è una provvisione, che la Natura ha accumulato per noi, a guisa d'un capitale, mentre il legno è la nostra incerta rendita annuale.

Così, noi siamo, attualmente, nelle condizioni di un giovane erede, che entrato da poco tempo in possesso della sua eredità, non contento delle rendite, va sprecando rapidamente il patrimonio. Questa osservazione ci venne suggerita dal Prof. Jevons, il quale notò che, non solamente spendiamo del nostro capitale, ma che spendiamo di esso la parte più utile e più preziosa. Noi adoperiamo, attualmente, il carbone, che si trova alla superficie; ma, verrà un tempo in cui lo avremo esaurito, ed allora saremo costretti a penetrare più sotto, per provvederne dell'altro. Considerato come sorgente d'energia, il carbone, che dovremo cercare a maggior profondità, ci renderà meno; poichè dalla quantità d'energia, che ci fornirà, dovremo dedurre quella che bisognerà spendere per portarlo alla superficie. Segue da tutto ciò che dobbiamo prevedere un tempo, però ben lontano da noi, in cui tutto il carbone si sarà consumato, così che si dovrà ricorrere ad altre sorgenti d'energia.

Degli alimenti.

199. L'energia degli alimenti è analoga a quella dei combustibili, e serve a fini consimili. Nel modo stesso che i combustibili possono essere adoperati e per produrre calore e per eseguire lavoro, gli alimenti hanno due uffici da compiere. In primo luogo, ossidandosi a poco a poco, essi mantengono elevata la temperatura del corpo; in secondo luogo, servono come sorgenti d'energia, e vi si ricorre

Digitized by Google

per eseguire lavoro. Così, un uomo od un cavallo, che lavorino molto, hanno bisogno di mangiare di più che se non lavorassero affatto. Un prigioniero condannato a faticosi lavori vuol essere meglio nudrito di uno che non faccia nulla; ed un soldato, durante le fatiche della guerra, trova necessario di mangiare di più che in tempo di pace.

I nostri alimenti sono d'origine animale o vegetale. Gli alimenti della seconda specie derivano immediatamente, come i combustibili, dall'energia dei raggi solari; quanto a quelli della prima, essi non sono altro che sostanze vegetali, che, prima di venire a noi, sono passate nel corpo d'un animale: l'animale ha mangiato erba e noi mangiamo l'animale.

Così, noi ci alimentiamo di carni, non soltanto per procurarci una varietà molto nutriente di cibo, ma ben anche per utilizzare certi prodotti vegetali, come l'erba, di cui non potremmo, coi nostri organi digerenti, alimentarci direttamente.

Massa d'acqua posta in alto.

200. L'energia di una massa d'acqua posta in alto, come quella dei combustibili e quella degli alimenti, è opera dei raggi solari. Il sole produce l'evaporazione dell'acqua, che, di nuovo condensandosi nelle regioni elevate, diviene atta ad essere impiegata per mettere in movimento una macchina idraulica.

Fra questo caso e i precedenti vi è però una differenza in ciò, che la formazione dei combustibili e delle sostanze alimentari è dovuta alla forza attinica dei raggi solari, mentre l'evaporazione e la condensazione dell'acqua sono piuttosto dovute al loro potere calorifico.

Digitized by Google

Energia che si può ricavare dalle maree.

201. Differente origine ha l'energia, che deriva dalle maree. Nell' Art. 133 abbiamo cercato di mostrare come la luna agisca sulla parte fluida del nostro globo, cosi che l'energia di rotazione della terra va, a poco a poco, estinguendosi, con estrema lentezza.

Dobbiamo quindi considerare il movimento di rotazione come origine dei diversi lavori, che si possono ricavare dai congegni messi in movimento dalle maree.

Solfo nativo ecc.

202. L' ultima varietà d' energia di posizione utilizzabile, che abbiamo compreso nella nostra lista, è quella che implicano il solfo nativo, il ferro nativo ecc. Il Professor Tait, a cui dobbiamo questo modo di passare in rivista le nostre forze, osservò che questa può dirsi la forma primordiale d'energia, e che le parti interne della terra, per ciò che sappiamo, devono essere interamente costituite da sostanze non combinate fra loro. Come sorgente di lavoro utile, essa non è però, nella pratica, d' alcuna importanza.

Aria ed acqua in moto.

203. Veniamo ora a quelle varietà d'energia utile, che derivano da un movimento, le più importanti delle quali sono quelle che si devono al movimento dell' aria ed a quello dell'acqua. Giovandosi della prima, il marinaio spiega la sua vela e trasporta la nave da un punto all'altro della

Digitized by Google

superficie del globo; ed è ancora in forza di essa che il mulino a vento ci macina il grano. L'acqua in moto è, poi impiegata, forse ancor più spesso dell'aria, per sorgente di forza motrice.

Senza dubbio, queste due varietà d'energia sono entrambe dovute al poter calorifico dei raggi solari. Possiamo quindi conchiudere che, — ad eccezione dell'energia, che, in quantità affatto insignificanti, ci possono fornire il solfo nativo ecc. e di quella che s'impiega nei pochi congegni mossi dalle maree, — dobbiamo al sole tutte le varietà d'energia di cui ci gioviamo.

Il Sole — Sorgente di calore ad elevata temperatura.

204. Ora, dirigiamo, per un momento, la nostra attenzione alla più mirabile sorgente d'energia, — al sole.

Qui abbiamo un immenso serbatoio di calore ad elevata temperatura, specie d'energia superiore, che fu sempre assai ricercata. Molti tentativi furono fatti per ottenere una luce perpetua, nel modo stesso che per ottenere un moto perpetuo, — con questa differenza, però, che la luce perpetua si supponeva dovesse risultare da poteri magici, mentre si credeva che, con cognizioni di meccanica, si sarebbe giunti ad ottenere il moto perpetuo.

Walter Scott allude a questa credenza nella sua descrizione della tomba di Michele Scott, che immagina contenere una luce perpetua. Così, il monaco, che seppelli il mago, dice a Guglielmo di Deloraine:

« Guerrier, la Croce Rossa, ecco, ti mostra
L'avello, ove riposa il forte estinto.

Digitized by Google

Mirabile una luce entro vi splende,
Che gli spirti notturni in fuga volge;
Ed arderà inestinta,
Fin che verrà del gran giudizio il giorno » [1].

Poi, quando la tomba fu scoperta, leggiamo:

« Là stati foste, per veder con quanta
Gloria la luce dall'avel proruppe!
La volta della cripta inondò tutta,
E, lontano, pei portici, si sparse.
Niuna fiamma terrena
Non rifulse giammai così splendente! » [2]

Niuna fiamma terrena — ben esclamava il poeta, — nessuna fiamma di questa terra, dove la luce e le altre forme di energia superiore sono essenzialmente fuggitive.

Una luce perpetua è impossibile.

205. I nostri lettori potranno subito vedere che luce perpetua non è che un altro nome per indicare moto per-

[1] Lo, Warrior, now the Cross of Red
Points to the Grave of the mighty dead.
Within it burns a wondrous light,
To chase the spirits that love the night.
That lamp shall burn unquenchably,
Until the eternal doom shall be.

[2] I would you had been there to see
How the light broke forth so gloriously.
Stream'd upward to the chancel roof,
And through the galleries far aloof!
No earthly flame blazed e'er so bright.
WALTER SCOTT.
The lay of the last minstrel.

Digitized by Google

petuo, poichè si può sempre ricavare energia visibile da calore ad elevata temperatura; — è ciò che si fa, quotidianamente, nelle macchine a vapore.

Quando abbruciamo il carbone, facendolo combinare coll'ossigeno dell'atmosfera, ne ricaviamo una grande quantità di calore ad elevata temperatura. Ma, non è possibile, potranno domandare i nostri lettori, raccogliere l'acido carbonico, che risulta dalla combustione, e, mediante il calore a bassa temperatura, che abbiamo sempre in abbondanza a nostra disposizione, separarne di nuovo l'ossigeno ed il carbonio? Tutto ciò sarebbe possibile, se fosse una bassa temperatura quella che si chiama temperatura di dissociazione dell'acido carbonico, — vale a dire, la temperatura a cui l'acido carbonico si separa ne' suoi costituenti: oppure, se i raggi di una sorgente a bassa temperatura possedessero forza attinica sufficiente per decomporre l'acido carbonico.

Ma, non ha luogo nè l'una nè l'altra cosa. Non si può sopraffare la natura con un artificio di questo genere. Come per impedire tutte queste speculazioni, sono elevatissime le temperature di dissociazione delle sostanze simili all'acido carbonico, e i raggi attinici capaci di decomporle non sono emessi che da sorgenti a temperatura estremamente alta, qual' è il sole [1].

Il Sole fa eccezione?

206. Possiamo quindi star sicuri che una luce perpetua è una cosa impossibile, non altrimenti che un moto per-

[1] Questa osservazione fu fatta da Guglielmo Thomson.

Digitized by Google

petuo; ed ora dobbiamo cercare, se ciò si applica al caso del sole, o se, a proposito di esso, si deve fare un'eccezione. Il sole fa pienamente da sè, oppure, non emetterà calore ad elevata temperatura che per un certo tempo, come l'altre sorgenti? Innanzi tentar di rispondere a questa domanda, indaghiamo qual'è, probabilmente, l'origine del calore del sole.

Origine del calore del Sole.

207. Vi sono certuni che, in questa indagine, taglierebbero il nodo gordiano, coll'asserire che il nostro luminare fu creato incandescente; ma, la mente educata dalla scienza non si trova disposta a riposare su tale asserzione. Quando troviamo, sul lido, un ciottolo rotondo, noi dichiariamo subito, che, vi dev'essere stata qualche azione fisica, per ridurlo a tal forma. Così, a proposito del calore del sole, dobbiamo proporci di trovare se non vi è qualche azione, — non totalmente immaginaria, ma tale che noi sappiamo, o sospettiamo almeno, possa operare tuttora, — la quale dia ragione del calore del sole.

Ora, è più facile indicare ciò che non può esser causa del calore del sole che ciò che ne può essere causa. Per esempio, possiamo tenere per certo ch'esso non può essere prodotto da azioni chimiche. La teoria più probabile è quella che fu immaginata da Helmholtz e da Thomson, [1], e che attribuisce il calore del sole alla primordiale energia di posizione delle sue particelle. In altre pa-

[*] Sembra che Mayer e Waterston abbiano intraveduto, pei primi, questa idea.

Digitized by Google

role, si suppone che queste particelle si siano trovate originariamente a grande distanza l'una dall'altra, e che, essendo dotate di mutua gravitazione, si siano poi venute aggregando a poco a poco, donde uno sviluppo di calore, come nel caso in cui una pietra precipita a terra dalla sommità d'un'altura.

208. Questa condizione di cose non è totalmente immaginaria, poichè si hanno ragioni per credere che in tale stato si trovino ancora certe nebule, le quali, — e per la loro costituzione, come si rivela allo spettroscopio, e per la loro generale apparenza, — suscitano, in chi le osserva, l'idea che non siano ancora condensate del tutto, così d'aver raggiunto la loro forma e il loro volume definitivo.

Se ammettiamo che il nostro luminare abbia ottenuto in tal modo la sua quantità meravigliosa d'alta energia, abbiamo da cercare come questa azione attualmente proceda. Ha dessa agito soltanto per il passato, oppure agisce tuttora? Io credo si debba rispondere che il sole non può essere in istato di molto rapida condensazione, per lo meno dai tempi da cui datano le prime memorie storiche. Infatti, se il sole fosse sensibilmente più grande di quello che è, gli eclissi totali di sole non sarebbero più possibili. Ora, tali eclissi hanno luogo, ad ogni modo, da parecchie migliaia d'anni. Senza dubbio un certo numero di meteoriti cade continuamente nel sole, che, in conseguenza di questa caduta, tende a riscaldarsi di più: ma, certamente, il suo calore non dev'essere aumentato, per questa azione, che di una quantità affatto insignificante. Se il sole, attualmente, non va condensandosi abbastanza rapidamente per ricavare dal processo di condensazione una sufficiente quantità di calore, e, se l'energia che perde non è com-

Digitized by Google

pensata che assai scarsamente da azioni esterne, segue necessariamente da ciò ch'esso è nelle condizioni di un uomo, che spende più di quello che le sue entrate gli rendono. Esso vive del suo capitale, ed è però destinato a dividere la sorte di tutti quelli che fanno così. Dobbiamo, quindi, prevedere un'epoca, in cui il sole sarà meno ricco d'energia che attualmente, ed una, ancor più remota, in cui cesserà completamente di splendere.

Destino probabile dell' Universo.

209. Così, vediamo qual destino si riserba all'energia d'alta temperatura dell'universo; pensiamo, allora, per un istante, che cosa dovrà accadere della sua energia visibile. Abbiamo parlato di un mezzo, diffuso per tutto lo spazio, che sembra tenda a diminuire e ad estinguere ogni movimento differenziale, nel modo stesso che tende a ridurre, e a togliere, ogni differenza di temperatura. Concludiamo che l'universo dovrà diventare, alla fine, una massa uniformemente riscaldata, dove non si potrà produrre alcun lavoro, poichè una produzione di lavoro dipende da una differenza di temperatura.

Quindi, sebbene, in senso strettamente meccanico, vi sia conservazione dell'energia, l'energia dell'universo, per ciò che risguarda l'utile e il profitto, che ne possono ricavare esseri viventi, è in via di decadenza. Il calore universalmente diffuso costituisce ciò che noi possiamo chiamare il grande ammasso in cui si accumulano le ruine, che si fanno nell'universo, ed esso cresce, d'anno in anno, sempre di più. Attualmente, esso non ci oppone un ostacolo sensibile, ma chi sa che non debba venire un tempo in cui

Digitized by Google

dobbiamo accorgerci, nella pratica, della crescente sua mole?

210. Si vedrà che, in questo capitolo, abbiamo considerato l'universo, non già come un complesso di materia, ma, piuttosto, come un agente, che dispiega energia: — come una lampada accesa. Ora Thomson, che lo considerò sotto questo aspetto, osserva come l'universo sia un sistema, ch'ebbe un principio, e che deve avere una fine, poichè un processo di decadenza non può essere eterno. Se potessimo paragonare l'universo ad una lampada non accesa, allora, forse, arriveremmo a concepire come possa aver sempre esistito: ma, se lo paragoniamo ad una lampada accesa, dobbiamo assolutamente convincerci ch' esso non può ardere dall'eternità, e che dovrà giungere un tempo in cui cesserà di ardere. Così, ci sentiamo condotti ad immaginare un principio, in cui le particelle di materia si trovavano sparse, in uno stato di chaos, dotate però di forza di gravitazione: come pure ad immaginare un fine, in cui l'intero universo altro non sarà più che una massa inerte, uniformemente riscaldata, donde saranno completamente scomparsi vita, movimento, bellezza.

Digitized by Google

CAPITOLO SESTO.

POSIZIONE DELLA VITA.

211. Finora ci siamo limitati, quasi esclusivamente, a trattare delle leggi dell' energia, in quanto agiscono sulla materia inorganica, e poco o nulla ci siamo occupati della posizione della vita. Ci siamo accontentati di assistere, come spettatori, alla contesa, dimenticandoci quanto ne concerna il risultato di essa. Il conflitto non è tale da ammettere semplici spettatori: — esso è un conflitto universale, a cui tutti dobbiamo partecipare. Non sarà quindi fuor di proposito che tentiamo di riconoscere, per quanto possiamo, qual' è la nostra posizione.

Vi sono due specie d' equilibrio.

212. Una delle prime cose, che c'insegna la meccanica è come vi siano due specie d'equilibrio: l'equilibrio *stabile* e l'equilibrio *instabile*. Un uovo serve ottimamente a dare un esempio dell'una e dell' altra specie. Prendiamo una tavola ben piana ed orizzontale, e collochiamo un uovo sopra di essa; ognun sa in qual modo l'uovo vi si porrà a giacere. Esso vi resterà in quiete, vale a dire, in equilibrio, e, non solamente in equilibrio, ma in equilibrio stabile. Per

Digitized by Google

provarlo, spostiamo l'uovo, premendolo col dito; tolta la pressione, lo vedremo tornare alla primitiva sua posizione, e riprendere lo stato di quiete, dopo un'oscillazione o due. Inoltre, per spostarlo dovremo spendere una considerevole quantità d'energia. Noi esprimiamo tutto ciò, col dire che l'uovo si trova in equilibrio stabile.

Instabilità Meccanica.

213. Ed ora proviamoci a equilibrare l'uovo sul suo asse maggiore. Probabilmente, con un po' di cura, riusciremo anche a ciò. Ma, questa sarà un'operazione difficile, che richiederà un maneggio ben delicato: ed anche dopo che ci saremo riusciti, non potremo dire fin quando potrà durare l'opera nostra. Il più piccolo impulso, il più leggiero soffio d'aria potranno bastare a rovesciar l'uovo, che, in questo caso, è chiaramente in equilibrio instabile. Se l'uovo si equilibrerà alla sponda della tavola, con tutta probabilità, dopo qualche minuto, cadendo innanzi, precipiterà al suolo; ma, possiam dire che potrà tanto precipitare così, quanto non cadere che sulla tavola. Non dobbiamo credere però che il puro caso abbia in ciò a che fare, e che i movimenti dell'uovo non abbiano causa: ma, dobbiamo intendere che tali movimenti sono determinati da qualche impulso così minimo da sfuggire affatto a tutti i nostri mezzi d'osservazione. Infatti, essendoci assicurati, prima di cominciare l'esperimento, che non vi fossero nè correnti d'aria, nè mancanza di livello, nè azioni esterne di sorta, quando l'uovo cade, non sappiamo assolutamente quale origine assegnare all'impulso, che lo ha fatto cadere.

214. Ora, se l'uovo viene a cadere dalla tavola al suolo,

Digitized by Google

vi è una considerevole trasmutazione d'energia; poichè l'energia di posizione, che l'uovo deve all'altezza a cui si trova, stando sulla tavola, tutt'ad un tratto si cangia, in primo luogo, in energia di movimento, in secondo luogo, in calore — quando l'uovo giunge a contatto del suolo.

Se, invece, l'uovo viene a cader sulla tavola, la trasmutazione d'energia è relativamente piccola.

Si vede, così, che dipende da qualche impulso esterno, così estremamente piccolo da eludere affatto la nostra osservazione, che l'uovo cada al suolo e dia origine ad una trasmutazione d'energia relativamente considerevole, o che piuttosto cada sulla tavola, e dia origine ad una trasmutazione d'energia relativamente piccola.

Instabilità Chimica.

215. Vediamo dunque che, quando un corpo, od un sistema, sono in equilibrio instabile, la loro energia può andar soggetta ad una ragguardevole trasmutazione, prodotta da una causa o da un accidente da nulla. Nel caso or menzionato, agisce la forza di gravitazione, essendo l'apparecchio in visibile instabilità meccanica. Ma possiamo avere una sostanza, un sistema, le condizioni dei quali tenda ad alterare, non la gravità, ma l'affinità chimica; questa sostanza, questo sistema, in certe condizioni speciali, possono diventare *chimicamente instabili*.

S'intende che una sostanza è chimicamente instabile, quando il più piccolo impulso, di qualunque genere sia, vi può determinare un cangiamento chimico, nel modo stesso che, nel caso dell'uovo, il più piccolo impulso esterno poteva produrre uno spostamento meccanico.

Digitized by Google

In somma, una sostanza, od un sistema, chimicamente instabili si trovano, per rispetto alla affinità chimica, in relazioni simili, in certo qual modo, a quelle in cui si trova, per rispetto alla gravità, un sistema meccanicamente instabile.

La polvere da fucile è un esempio comunissimo di sostanza chimicamente instabile. La più debole scintilla, passandovi, vi può suscitare una subitanea trasformazione chimica, accompagnata dalla istantanea e violenta generazione di un grande volume di gas ad elevata temperatura. I varii composti esplosivi, come il coton-polvere, la nitro-glicerina, i fulminati, e molti altri, sono tutti esempi di strutture chimicamente instabili.

Le macchine sono di due specie.

216. Alla parola macchina, struttura, sistema, noi, semplicemente, annettiamo l'idea di un certo numero di parti, dotate, ciascuna, di propria individualità, ed associate insieme, così da produrre un certo risultato. Il sistema solare, un cronometro, un fucile, sono esempi di macchine inanimate: mentre un animale, un uomo, un esercito, sono esempi di macchine, o di strutture, animate. Ora, vi sono due specie di siffatte macchine o strutture, le quali differiscono l'una dall'altra, non soltanto per l'oggetto a cui mirano, ma eziandio pel modo in cui lo raggiungono.

217. In primo luogo, vi sono macchine, che hanno per iscopo un'azione sistematica, dove tutte le disposizioni sono di un carattere conservativo, ed è evitato, più che sia possibile, l'elemento dell'instabilità. Si possono addurre, come esempi, il sistema solare, un cronometro, una mac-

Digitized by Google

china a vapore, che sta lavorando, — e il carattere, che tutte le contraddistingue, è la loro *calcolabilità*. Così, l'esperto astronomo può indicare, colla maggior precisione, dove si troveranno la luna e il pianeta Venere l'anno venturo, come adesso. — Un cronometro è perfetto, quando i suoi diversi indici sono, ad un certo tempo, esattamente diretti secondo determinate direzioni. — E possiamo contare con sicurezza sopra un piroscafo, che percorra tanti nodi all'ora, almeno finchè si mantengono le stesse condizioni esterne. In tutti questi casi noi facciamo i nostri calcoli, senza pericolo d'ingannarci; — lo scopo cercato è regolarità d'azione, e vi si arriva con una stabile disposizione delle forze della natura.

218. I caratteri delle macchine dell'altra classe sono precisamente contrarii.

Qui, lo scopo prefisso è una trasmutazione d'energia non già regolare, ma subitanea e violenta, e vi si arriva con una instabile disposizione di forze naturali. Un fucile ben caricato, munito di un delicatissimo cane, ne fornisce un ottimo esempio: qui, il più leggiero impulso può cagionare l'esplosione della polvere e la proiezione della palla con grande velocità. Queste macchine sono specialmente caratterizzate dalla loro *incalcolabilità*.

219. Per spiegarci, supponiamo che due cacciatori escano insieme alla caccia, ciascuno con un buon fucile ed un buon orologio. Dopo aver lavorato tutto il giorno, l'uno si volge al suo compagno e gli dice: « Faremmo meglio a riposarci, poichè il mio orologio fa sei ore; » allora, l'altro guarda il proprio e, per certo, molto si meraviglierebbe, e se la prenderebbe col fabbricatore, se non facesse pure sei ore. I loro orologi sono evidentemente nello stesso

Digitized by Google

stato, e devono aver agito egualmente. Ma, quanto ai loro fucili? Date le condizioni dell'uno, sarà mai possibile dedurne, a forza di calcolo, quelle dell'altro? Vediamo tosto che supporre che ciò si possa fare è ridicolo.

220. Si fa così manifesto che, per rispetto all'energia, gli apparecchi sono di due specie. In quelli dell'una, il fine che si cerca è una regolarità d'azione, e vi si arriva mediante una stabile disposizione di forze naturali; in vece, in quelli dell'altra, il fine che si cerca è una libertà d'azione, una subitanea trasmutazione d'energia, e vi si arriva mediante una instabile disposizione di forze naturali.

Le macchine dell'una serie sono caratterizzate dalla loro *calcolabilità* — quelle dell'altra dalla loro *incalcolabilità*. Le prime, quando lavorano, non facilmente si guastano, mentre l'altre sono contraddistinte da una grande delicatezza di struttura.

Un animale è una macchina di delicata struttura.

221. Ma forse il lettore potrà farci un'obbiezione, perchè abbiamo portato come esempio il fucile.

Infatti, sebbene il fucile sia, senza dubbio, una macchina di delicata struttura, pure esso non presenta la stessa estrema delicatezza, che, per esempio, presenta un uovo, equilibrato sul suo asse maggiore. Ancorchè sia ben caricato, e munito di un cane sensibilissimo, si può star sicuri ch'esso non si scaricherà spontaneamente. Benchè il suo scopo sia produrre una subitanea e violenta trasmutazione d'energia, questa trasmutazione non si può avere, se non imprimendo al grilletto una certa quantità d'energia; e, per quanto possa essere piccola, se questa quan-

Digitized by Google

tità d'energia non si spende, il fucile non si scarica. Vi è, senza dubbio, delicatezza di costruzione, ma non al punto da cagionare una vera incalcolabilità; ed è solamente quando è nelle mani del cacciatore che il fucile diventa una macchina sulle condizioni della quale non si può calcolare.

Ora, nel fare questa osservazione, noi definiamo la posizione, che il cacciatore stesso occupa nell' Universo dell' Energia.

Il fucile ha delicata struttura, non però estremamente delicata; il cacciatore e il fucile, presi insieme, costituiscono una macchina di estrema delicatezza; dunque il cacciatore è una macchina di quest'ultima specie. Così, cominciamo a vedere che un uomo, e lo stesso dicasi d'ogni animale, è una macchina di delicatezza, praticamente, infinita, di cui non si possano assolutamente prevedere le condizioni e i movimenti.

In fatti, non è patentemente assurdo che un uomo possa esser capace di calcolare i propri movimenti e quelli ancora de' suoi simili?

La vita agisce come il comandante di un esercito.

222. Esponiamo ora una nuova analogia. — Supponiamo che sostenga una guerra un esercito, guidato da un gran comandante. Questo comandante conosce troppo bene la sua parte, per esporsi egli stesso: infatti, nessuno de'suoi dipendenti non lo ha mai visto. Egli sta lavorando in una camera ben custodita, che fili telegrafici mettono in comunicazione col quartier generale delle varie divisioni. Mediante questi fili, egli può trasmettere i proprii ordini ai

Digitized by Google

generali di queste divisioni, e, collo stesso mezzo, può ricevere informazioni sullo stato d'ognuno.

Così, il quartier generale di questo comandante diventa un centro, a cui vengono tutte le informazioni, e donde partono tutti i comandi.

Ora, quella cosa affatto misteriosa, che noi chiamiamo vita, intorno alla natura della quale conosciamo sì poco, probabilmente, non agisce in modo molto diverso da un tal comandante. La vita non si può dire un rodomonte, che braveggi per l'universo, calpestando tutte le leggi dell'energia, ma si può dire piuttosto un consumato strategista, che, stando nel suo segreto studio, innanzi a' suoi fili, dirige le mosse di un grande esercito [1].

223. Supponiamo che il nostro esercito sia in rapida marcia, e proviamoci a trovare la causa del suo movimento. Noi troviamo, in primo luogo, che l'ordine di marciare fu impartito dai comandanti dei singoli reggimenti alle truppe, che dipendono da ciascuno di loro. In secondo luogo, apprendiamo che le staffette, addette ai generali delle varie divisioni, hanno portato questo ordine ai comandanti dei reggimenti. Apprendiamo, da ultimo, che l'ordine di marciare fu telegrafato ai generali di divisione dal quartier generale.

Venendo a noi, è probabile che, in qualche parte della misteriosa e ben custodita camera cerebrale, sia dato il delicato impulso direttivo, che determina i nostri movi-

[1] Vedi un articolo sulla « Posizione della Vita » dell'autore di quest'opera, colla collaborazione del signor J. U. Lockyer: « Macmillan's Magazine » Settembre 1868; come pure una lettura sul « Recente Sviluppo della Fisica Cosmica » dell'autore di quest'opera.

Digitized by Google

menti. Questa camera costituisce il quartier generale del comandante in capo, che si sta così nascosto da essere assolutamente invisibile a tutti i suoi dipendenti.

224. Joule, Carpenter e Mayer videro, ben presto, come le leggi dell'energia circoscrivano gli animali, così che il potere di essi, per ciò che risguarda l'energia, non è creativo, ma soltanto direttivo. Si vide che un animale, per poter lavorare, dev'essere nutrito; e Rumford, ancor prima, ebbe ad osservare che da una tonnellata di fieno si ricava maggior vantaggio, dandola come nutrimento ad un cavallo, e facendo poi lavorare il cavallo stesso, che non adoperandola come combustibile, in una macchina a vapore.

225. In questo capitolo, lo stesso ordine di idee è stato spinto alquanto più. Abbiamo veduto che la vita è associata con macchine di delicata struttura, per modo che, ogniqualvolta un essere vivente produce una trasmutazione di energia, se fosse possibile riconoscere com' essa venne a compirsi, risalendo alle origini, si troverebbe che fu preceduta da una trasmutazione minore, la quale si troverebbe preceduta, alla sua volta, da una trasmutazione ancor minore; e così, di questo passo, fin dove si potrebbe rintracciare il processo.

226. Ma, con tutto ciò, non pretendiamo d'avere scoperto la vera natura della vita e nemmeno quella delle sue relazioni coll'universo materiale.

Noi non abbiamo fatto altro che arrischiare l'opinione che la vita sia sempre associata con un macchinismo di certa specie, in virtù del quale l'effetto di un impulso direttivo, estremamente debole, può, in ultimo, ingigantirsi, fino a diventare una considerevole trasmutazion di ener-

Digitized by Google

gia. Infatti, si stenta a capire come la libertà di moto, che implica la vita, possa stare senza un macchinismo dotato di delicatissima struttura.

In somma, non siamo riusciti a trovare qual'è propriamente la natura della vita, ma soltanto abbiamo portato la difficoltà al confine di un campo tenebroso, in cui la luce della scienza non ha saputo ancor penetrare.

I tessuti organici sono soggetti a decadere.

227. Così, abbiamo appreso due cose: — in primo luogo, che la vita è associata con una delicatezza di struttura, e, in secondo luogo [Art. 220] che una delicatezza di struttura implica una disposizione instabile di forze naturali. Ora dobbiamo notare che la forza, che negli esseri viventi specialmente s'impiega, è l'affinità chimica. I nostri corpi sono, per verità, esempi di instabili disposizioni di forze chimiche, e i materiali, che li costituiscono, se non possono subire una istantanea esplosione, come la polvere pirica, sono, pure, eminentemente soggetti a decadenza.

228. Ora, questa legge non si può dire, semplicemente, generale: essa, infatti, si applica in diverso grado alle diverse parti del nostro corpo, e in tal modo che quelle che son destinate a compiere, durante la vita, gli uffici più nobili e più delicati, sono le prime a perire, quando la vita si estingue.

« Oh! più possente sovra l'occhio scende
La morte, che dal suo trono di luce
Balza lo spirto. Queste luci azzurre

Digitized by Google

Oscurò già la lunga ultima eclissi,
Ma la grazia le labbra anima ancora. » [1]

Così esclama il poeta, e, in questa condizione di cose, il suo lamento viene ad essere la vera interpretazione della natura.

Differenza che passa fra un animale e una macchina inanimata.

229. Ed ora siamo in grado di riconoscere in che cosa differiscono fra loro le relazioni che un essere vivente, qual è un uomo, ha coll'energia, e quelle che ha coll'energia una macchina, qual'è una motrice a vapore.

Un essere vivente e una macchina si assomigliano per molti punti. Entrambi vogliono essere nutriti, ed in entrambi si trasforma in calore, e in energia di moto visibile, l'energia di separazione chimica, che implicano il combustibile o il cibo.

Ma, mentre l'una — la macchina — per agire, non ha bisogno che di carbone, o di qualche altra sostanza, che implichi separazione chimica, l'altro — l'essere vivente — vuole che gli si amministri tessuto organico. Infatti, quella delicatezza di struttura, che è così essenziale al nostro benessere, non è cosa che possa ottenere l'interna elaborazione de'nostri proprii apparecchi, — noi non possiamo far altro che appropriarci e assimilarci ciò che ne viene dal

[1] Oh! o'er the eye death most exerts his might
And hurls the spirit from her throne of light;
Sinks those blue orbs in their long last eclipse,
But spares as yet the charm around the lips.

Digitized by Google

di fuori; tal delicatezza di struttura già si trova nel cibo che noi inghiottiamo.

La vita dipende, in ultimo, dal sole.

230. Abbiamo già dovuto riconoscere [Art. 203] che il sole è la prima sorgente di tutta l'energia, che noi possediamo, ed ora dobbiamo considerarlo come sorgente, nel modo stesso, della nostra delicatezza di struttura. Si richiede l'energia dei raggi solari, ad altissima temperatura, per trattare, e per maneggiare, le potenti forze d'affinità chimica, come pure, per equilibrarle in modo da produrre nel vegetale qualche cosa che provveda i nostri apparecchi, non soltanto d'energia, ma ben anche di delicatezza di struttura.

Il calore a bassa temperatura è affatto impotente ad ottenere tal risultato; esso consiste di vibrazioni eteree non abbastanza rapide, e d'onde non abbastanza brevi, per provocare la disaggregazione delle particelle, che costituiscono una molecola composta.

231. Si vede, così, che gli animali dipendono, in più di un modo, dalla munificenza del sole; e certi casi, che, a prima vista, si presentano come eccezioni, studiati sufficientemente, non fanno che confermare la legge.

Così, le recenti indagini del Dottor Carpenter e del Professor Wyville Thomson ci hanno rivelato l'esistenza di minutissimi esseri, che vivono nelle parti più profonde dell'oceano, dove, sicuramente, non può penetrare alcun raggio di sole. Queste piccole creature come ottengono quell'energia e quella delicatezza di struttura, senza le quali non possono vivere? — in altre parole, come si alimentano?

Digitized by Google

Ora, quegli stessi naturalisti, che hanno scoperto l'esistenza di queste creature, ci hanno dato, ultimamente, una plausibile spiegazione di tale mistero. Essi credono assai probabile che per tutto l'oceano sia disseminata una quantità piccolissima, ma percettibile, di materia organica, la quale forma, com' essi dicono, una specie di zuppa diluita, che a quelle minute creature serve di cibo.

232. In conclusione, noi dobbiamo al sole, centro del nostro sistema, non solamente l'energia dei nostri apparecchi, ma ben anche la delicatezza della nostra struttura; — l'avvenire della nostra specie dipende dall'avvenire del sole. Ora, abbiamo visto che il sole deve aver avuto un principio, e che dovrà avere un fine.

Ci sentiamo poi indotti a pensare, più generalmente, che tutto l'universo materiale, preso dal punto di vista dell'energia utile, sia di natura passaggera ed abbracci un ordine di fatti fisici, che sempre non potranno essere tali quali sono attualmente.

Ma qui ci accostiamo ad un soggetto, che è fuori del nostro campo; poichè la Fisica non ci può apprendere ciò che vi dev'essere stato prima del principio delle cose, e neppur ci sa dire ciò che dovrà accadere dopo la fine.

Digitized by Google

Digitized by Google

APPENDICE.

Digitized by Google

Digitized by Google

CHE COS'È LA FORZA?

PER

M. P. DI SAINT-ROBERT

Digitized by Google

Digitized by Google

CHE COS' È LA FORZA?

Poche parole sono impiegate così spesso e, con significato sì molteplice, come quella di *forza*. Dallo scienziato, che cerca di sottomettere le forze della natura, e di farle servire a profitto della umanità, al giornaliero, che si guadagna il pane, per mezzo della propria forza muscolare, tutti hanno sempre la parola *forza* sulle labbra, attribuendole ora un senso ed ora un altro.

Se nel linguaggio ordinario la parola *forza* ha un significato molteplice, si dovrebbe, almeno nel linguaggio scientifico, non attribuirgliene che uno ben definito. Ciò sfortunatamente non avviene, e in meccanica perfino, dove questa parola è fondamentale, si usa per esprimere tre diversi concetti. Infatti, in questa scienza, si considera la forza, ora come una *pressione* od una *trazione* esprimibile in chilogrammi [1], ora, come una *velocità*, che si esprime in metri [2], ora finalmente come un *lavoro*, cioè come

[1] Una forza qualsiasi può sempre essere misurata da un peso, e per conseguenza valutata in numeri, mediante l'unità di peso. [Delaunay, *Trattato di meccanica razionale*. Parigi 1856, p. 118].

[2] Poichè la forza non si conosce che per lo spazio, che fa descrivere in un tempo determinato, è naturale di prendere questo spazio, per misura di essa. [Laplace]. *Meccanica celeste*. t. I, p. 15.

Digitized by Google

un peso sollevato ad una certa altezza, che si esprime in chilogrammetri. [1]

Questa molteplicità di significati, attribuiti alla stessa parola, è ben riprovevole, poichè ne derivano tutte le difficoltà, che incontrano i principianti a cogliere il vero spirito della meccanica.

Crediamo che non torneranno inutili alcune considerazioni su questo argomento.

I.°

Ordinariamente si definisce la forza, dicendo che « è « quella causa qualunque, che mette un corpo in movi- « mento, o che semplicemente tende a muoverlo, quando « il suo effetto è sospeso; oppure impedito, da un'altra « causa. » [2]

Questa definizione è assai vaga. Infatti, dice Carnot: « quale idea netta può mai presentare allo spirito, in sif- « fatta materia, il vocabolo *causa?* — Vi sono tante specie « di cause! E che può mai intendersi, nel linguaggio pre- « ciso della matematica, per una *forza*, cioè per una *causa*, « doppia o tripla di un'altra? Queste cause sarebbero « mai la volontà, o la costituzione fisica dell'uomo o del- « l'animale, che fa nascere colla sua azione il movi- « mento? — Ma, che cos'è mai una volontà doppia o

[1] Nelle arti, si è sempre detto, e si dirà sempre; La forza di un corso d'acqua, di una macchina, di un cavallo. [D'Aubuisson. — *Trattato di idraulica* p. 331]. Quando s'impiega la parola *forza* nel linguaggio ordinario, questa parola rappresenta, quasi sempre, un lavoro.

[2] Poisson. *Trattato di meccanica.* t. I, p. 2.

Digitized by Google

« tripla d'un'altra?... una costituzione fisica capace di « un effetto doppio o triplo di quello di cui un'altra è « capace? »

Il difetto capitale di questa definizione, generalmente adottata, sta in ciò che essa può applicarsi ad una quantità di cose diverse. Per esempio, quando un corpo in movimento ne incontra uno in quiete, lo mette in movimento: esso è la causa di questo movimento. Dunque, giusta la definizione, un corpo in movimento è una forza.

Un corpo, abbandonato a sè stesso, si mette in movimento, cade. La causa che lo fa cadere, che si chiama *gravità*, è dunque una forza. Questa forza agisce sempre sul corpo, anche quando è sospeso, o deposto sopra un sostegno. La forza che determina la pressione, che si esercita sopra l'ostacolo, è della stessa natura della forza di un corpo in moto?

Quando un ostacolo ferma un corpo che si move, esso è la causa, chè ne modifica il moto: dunque, questo ostacolo è una forza.

Potremmo moltiplicare gli esempi, che fanno risaltare l'indeterminazione della ordinaria definizione della parola forza.

Per liberarsi dal vago inerente alla parola *causa*, bisogna precisare con quale effetto si deve stimare la forza: poichè noi non conosciamo le forze che per gli effetti, che producono, e non abbiamo alcuna cognizione della loro natura.

Esaminiamo ciò che avviene, quando un corpo si mette in moto. È provato dall'esperienza che un corpo non può imprimersi un movimento da sè, — vale a dire che, se è in quiete, non potrà uscirne da sè, e, se si move, non potrà nè fermarsi, nè modificare il proprio moto, senza l'intervento di una causa esterna.

Digitized by Google

È in ciò che consiste la legge dell' *inerzia.*

Un corpo, quando cangia il proprio stato di quiete o di movimento, nol fa mai, se non per l'azione di qualche altro corpo, al quale esso fa provare, reciprocamente, un cambiamento analogo, ma di senso opposto.

Per esempio, quando un corpo in movimento ne incontra un altro, i due corpi si comprimono mutuamente, e la velocità dell' uno, passa, per dir così, nell' altro, finchè l'uno conserva una velocità maggiore di quella dell'altro. Ad un certo istante, i due corpi hanno acquistata la stessa velocità, e si movono insieme, almeno per un tempo brevissimo. Dopo di ciò, essi potranno separarsi, in virtù della più o men grande efficacia della loro elasticità, che tende a far loro riprendere la forma primitiva. Ma, se i corpi sono privi di elasticità, o se, dopo l' urto, restano fissati l' uno all' altro, allora si moveranno insieme colla stessa velocità. Ciò accade, per esempio, quando una palla, lanciata contro un pendolo ballistico, vi resta confitta.

Durante il tempo in cui i due corpi, animati da velocità differenti, reagiscono l' uno sull' altro, nasce ai punti di contatto una pressione, che sospinge il secondo corpo, e un'altra, eguale e contraria, che respinge il primo: permodochè ciascun corpo sospinge l' altro di tanto quanto ne è respinto.

In ciò consiste la legge della *reazione eguale e contraria all' azione.*

La spinta, l'azione dell' un corpo sull'altro, e la reazione del secondo sul primo, sono, ad ogni istante, misurabili per mezzo di pesi.

È ben naturale d' applicare il nome di *forza* a questa pressione, che nasce tra i due corpi, durante il tempo in cui

Digitized by Google

reagiscono l'uno sull'altro, senza la quale non vi potrebb'essere comunicazione di movimento. Infatti la nozione di questa forza, che si manifesta al contatto dei due corpi, ci è famigliare; noi l'acquistiamo, in seguito ad una continua esperienza, essendo essa analoga alla pressione, che nasce dal nostro contatto coi corpi che ne circondano.

Noi vediamo apparire la forza ogniqualvolta vi è trasmissione di movimento da un corpo all'altro: tuttavia vi sono casi in cui la forza apparisce, senza che i corpi si tocchino. La gravità, l'elettricità, possono modificare i movimenti dei corpi, senza che i nostri organi possano farci percepire alcun legame materiale posto fra il mobile e la causa, che agisce misteriosamente sopra di esso.

Alcuni scienziati, che non ammettono vi possano essere altre forze che quelle che si esercitano fra corpi a contatto, spiegano la gravità e tutte le varie attrazioni e ripulsioni, coll'azione dell'etere, materia sottile, che riempie tutto lo spazio [1].

Qualunque sia la causa di queste azioni a distanza, gli effetti a cui danno luogo non differiscono da quelli che producono le forze generate dalla reazione dei corpi che si toccano. Così, gli sforzi, che noi dobbiamo esercitare, per impedire che un grave cada, o che un pezzo di ferro si avvicini ad una calamita, sono forze simili a quelle che ci si rivelano, quando spostiamo un corpo.

Tutte le forze, ricevano poi il nome di *pressione*, di *ten-*

[1] Vedi in proposito: *Discorso sulla causa della gravità*, di C. H. D. Z. [Cristiano Huyghens di Zuylichem]. Leyda, presso Pietro Vandes. A a, MDCXC. — Le Sage [Giorgio Luigi]. *Lucrezio Newtoniano Mem.* [Berlino 1782]. — Secchi. *L'Unità delle Forze Fisiche. Saggio di filosofia naturale.* Parigi 1869.

Digitized by Google

sione, d'*attrazione* o di *ripulsione*, sono della stessa natura, in questo senso che possono tutte essere misurate da pesi.

Esse obbediscono tutte alla legge della reazione eguale all' azione. Così, la terra attira un corpo tanto quanto ne è attirata, e quando un corpo cade verso la terra, questa cade verso di esso.

Se si considera la forza come una pressione od una tensione, tutte le forze diventano della stessa natura, e numericamente paragonabili, qualunque differenza vi sia fra gli agenti, che le fanno nascere.

Noi definiamo dunque la forza come « la pressione o la « tensione, che agisce sopra un corpo, per modificarne lo « stato di quiete o di movimento [1]. »

Si può obbiettare a questa definizione che noi prendiamo l'effetto per la causa. Rispondiamo a ciò che le cause primordiali non ci son note, e che noi ne conosciamo solamente gli effetti, i quali diventano, alla lor volta, cause secondarie, le sole che noi possiamo concepire.

La meccanica non considera le cause prime delle pressioni, che determinano i movimenti: essa si limita a stabilire una relazione tra le pressioni e i movimenti, che ne risultano, qualunque sia poi stata l'origine della pressione: — sia che essa provenga dalle contrazioni muscolari d'un animale, o dall' attrazione di un centro, o dall'urto di un corpo, o dalla dilatazione di un fluido elastico.

[1] Questo concetto di forza concorda col valore etimologico della parola. Infatti, *forza* deriva dal basso latino *fortia*, *fortia* deriva dal latino *fortis*. Ora, il *for* di *fortis* corrisponde, secondo la legge di trasformazione, alla radice indo-europea DHAR, tenere, sostenere. Così, il valore etimologico di forza sarebbe ciò che tiene, ciò che sostiene. [V. Corssen. Krit. Beitr. 42. Ausspr. 1. 119].

Digitized by Google

Definita la forza come una pressione, dobbiamo trovare la legge, che lega la forza, espressa in chilogrammi, colla velocità, espressa in metri. È un punto delicato della meccanica, che importa di bene schiarire, perchè lascia spesso nubi nella mente.

Dobbiamo qui rammentare un secondo principio, che può enunciarsi così: « Una forza agisce sopra un punto « materiale in movimento, e sollecitato da un numero qua- « lunque di forze, assolutamente, come se fosse sola, ed il « punto fosse in quiete. »

Questo principio, riconosciuto, per la prima volta, da Galileo, e che si chiama principio dell' *indipendenza degli effetti delle forze,* forma cogli altri due, — quello dell' inerzia e quello dell'eguaglianza della azione e della reazione, — il fondamento di tutta la scienza meccanica.

Questi principii, o leggi, della natura non si potrebbero dimostrare *a priori.* Si devono considerare come postulati, la cui esattezza è resa incontestabile *a posteriori* dall'accordo delle conseguenze, che se ne deducono, coi fatti osservati, principalmente in astronomia.

Per applicare il principio dell' indipendenza degli effetti delle forze, consideriamo due punti materiali eguali fra loro, sollecitati da due forze ineguali: l'una 2F, doppia dell'altra, che dinotiamo con F. Se i due punti, dapprima in quiete, fossero sollecitati da due forze F, eguali, parallele, e dirette nel medesimo verso, questi due punti si moverebbero di concerto, e sarebbero in quiete, l' uno relativamente all' altro. Ma se l' uno di essi, nell' istante della partenza, riceve, di più, l' azione di una seconda forza F, alla fine di un tempo qualsiasi, avrà, per rapporto all'altro punto, una velocità relativa eguale alla velocità assoluta,

Digitized by Google

che la forza unica F imprime a quest'ultimo, nel medesimo tempo. Dunque il punto sollecitato dalla forza 2F possiede, ad un istante qualunque, una velocità doppia di quella che possiede il punto sollecitato dalla forza F.

Analogamente si vede che una forza tripla 3F imprimerà, in uno stesso tempo, una velocità tripla di quella che imprime la forza F.

In somma, se le forze saranno nel rapporto dei numeri m ed n, essendo rappresentate da mF ed nF, le velocità impresse nello stesso tempo saranno proporzionali alle forze: vale a dire che staranno fra loro come m ed n.

Se designiamo col vocabolo *accelerazione* l'aumento, che riceve la velocità, nell'unità di tempo, noi possiamo enunciare il teorema: « Le forze sono proporzionali alle acce-« lerazioni, che imprimono allo stesso punto materiale. »

Di qui si può passare alla definizione della *massa*, altra quantità di cui non è sempre chiaro il concetto.

In virtù della proporzionalità delle forze alle accelerazioni, si ha per un corpo qualunque, l'equazione

$$F = mG.$$

ove G è l'accelerazione, che imprime la forza F, ed m è un coefficiente costante per uno stesso corpo. Questo coefficiente varia, col passare da un corpo ad un altro: il suo valore numerico dipende, ad un tempo, dall'unità di forza e dall'unità di lunghezza: ma una volta scelte queste unità, F e G sono rappresentate da numeri, e allora il valore numerico di m riesce determinato.

Si è convenuto di chiamare *massa* questo coefficiente, eguale al rapporto

$$\frac{F}{G}.$$

Digitized by Google

Segue, da ciò, che due corpi hanno la stessa massa, quando, sottoposti alla influenza di una stessa forza, acquistano velocità eguali in tempi eguali. L'uno avrà una massa doppia, tripla... di quella dell'altro, se richiederà una forza doppia, tripla... per acquistare la stessa accelerazione.

La definizione, che si dà talvolta, della massa, definendola come la *quantità di materia*, non è sufficiente, a meno che tal quantità non si misuri per mezzo della forza necessaria a procurare al corpo una certa accelerazione.

Le masse sono fra loro paragonabili; nella meccanica celeste si riferiscono tutte a quella del Sole, presa come unità: ma, nella meccanica terrestre, non vi è veramente unità di massa più che non vi sia unità di peso specifico, unità di velocità. Infatti, l'adozione di una unità implica, necessariamente, lib rtà di scelta. Ora, una massa è assolutamente determinata, quando sono stabilite l'unità di forza e l'unità di lunghezza, epperò non vi è unità di massa.

Nel modo stesso che non si dice che l'unità dei pesi specifici è il peso specifico di un corpo che pesa un chilogramma, sotto l'unità di volume, nè che l'unità di velocità è la velocità di un corpo che percorre un metro in un secondo, non si deve dire che l'unità di massa è quella massa che, sollecitata durante un secondo da una forza eguale ad un chilogramma, acquisterebbe una velocità di un metro al secondo.

Per conoscere la massa di un corpo, basta un'esperienza la quale determini l'accelerazione, che quel corpo prende, sotto l'azione di una forza conosciuta.

Questa esperienza ci è fornita dalla caduta dei corpi ter-

Digitized by Google

restri nel vuoto. È noto che la gravità comunica in uno stesso luogo, a tutti i corpi, la stessa accelerazione g. Se si dinota con P il peso del corpo, l'equazione generale diventa

$$P = m\,g$$

ove g è una costante, il cui valore, alla latitudine di 45°, ed a livello del mare, fu trovato di $9^{m},80604$. [Bessel].

Poichè, in uno stesso luogo, l'accelerazione g è la stessa per tutti i corpi, risulta dall'equazione ora stabilita che le masse dei corpi sono proporzionali ai loro pesi: bisogna tuttavia ben guardarsi dal confondere la massa col peso. Infatti, il peso varia da un luogo ad un altro, laddove la massa resta costantemente la stessa, poichè il valore di g varia proporzionalmente a P.

Ciò posto, ne torna facile calcolare l'accelerazione, che prende un corpo, sotto l'influenza di una data forza.

Infatti, il peso di questo corpo, diviso per g, fa conoscere la massa m, onde si otterrà l'accelerazione cercata, dividendo per m il numero di chilogrammi, che misura la forza.

La formola

$$F = m\,G$$

permette di risolvere tutte le questioni, che si possono proporre, sul movimento rettilineo dei corpi.

Essendo la quantità G la velocità acquistata nell'unità di tempo, essa è eguale al piccolissimo aumento di velocità dv, che la forza imprime al corpo nel tempo infinitamente piccolo dt, diviso per questo stesso tempo: abbiamo cioè

$$G = \frac{dv}{dt}.$$

Digitized by Google

D'altronde, la velocità è eguale all'elemento ds dello spazio, diviso per l'elemento dt del tempo, abbiamo cioè

$$v = \frac{ds}{dt}.$$

Ne deduciamo

$$F = m \frac{dv}{dt} = m. \frac{vdv}{ds}.$$

E per conseguenza

$$\int F dt = mv - mv_0.$$

$$\int F ds = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mv_0^2.$$

L'integrale $\int F dt$ si chiama l'*impulso* della forza F durante il tempo t. Il prodotto mv si chiama la *quantità di moto* del corpo di massa m, animato da velocità v.

Perciò, la prima equazione indica che l'aumento della quantità di moto, durante un certo tempo, è eguale all'impulso durante lo stesso tempo.

L'integrale $\int F ds$ si chiama il *lavoro* della forza F, lungo lo spazio s. La quantità mv^2 fu chiamata per lungo tempo, e si chiama ancora comunemente, *forza viva* del corpo di cui m è la massa e v la velocità. Ma dal punto che alla parola *forza* si annette il senso di una pressione o di una trazione esprimibile in chilogrammi, non si può più servirsi della parola *forza*, per qualificare una quantità complessa mv^2, che posta sotto la forma

$$p \frac{v^2}{2g}$$

sarebbe, anzichè una forza, il prodotto di una forza per

Digitized by Google

una lunghezza. Noi preferiamo il vocabolo proposto da Belanger, e chiameremo *potenza viva* la quantità

$$\frac{1}{2} mv^2 \text{ [1]}.$$

La seconda equazione s'enuncia, per conseguenza, così: « L'aumento della potenza viva, di un corpo, che si sposta, « è eguale al lavoro speso dalla forza, durante lo sposta- « mento. »

Se per unità di forza si prende il chilogramma, e si prendono il secondo sessagesimale come unità di tempo, il metro come unità di lunghezza, l'impulso sarà espresso in chilogrammi-secondi, il lavoro in chilogrammetri. Faremo notare, come nel caso della massa, che, veramente, non vi sono nè unità d'impulso, nè unità di lavoro, poichè il chilogramma-secondo ed il chilogrammetro non sono arbitrarii, come dovrebbero essere, se fossero vere unità, ma dipendono d'altre quantità prese per unità.

Le due equazioni precedenti ci permettono di schiarire una questione intorno alla quale si è molto disputato nella

[1] Le due denominazioni di *impulso* e di *potenza viva* furono proposti ed impiegati da Belanger, ne' suoi eccellenti trattati di meccanica, dove, senza lusso di formole analitiche, espone, con chiarezza e rigore, i principii della meccanica. Non possiamo trattenerci dal consigliare questi trattati [*Corso di meccanica, o Riassunto di lezioni sulla dinamica, sulla statica, e sulle loro applicazioni all'arte dell'ingegnere.* Parigi 1817. — *Trattato sulla dinamica di un punto materiale.* Parigi 1861. — *Trattato sulla dinamica dei sistemi materiali.* Parigi 1866], ai giovani, che vogliono acquistare idee giuste, sopra una scienza che lascia spesso alcuni dubbi nella mente. Noi vi abbiamo molto attinto, per scrivere questo articolo, specialmente in ciò che risguarda la disputa sulle forza vive.

Digitized by Google

prima metà del secolo decimottavo. Trattavasi di sapere quale era la misura della forza dei corpi in movimento. Descartes, Newton, Eulero... sostenevano che la forza d'un corpo in movimento è misurata dalla quantità di moto: Leibnitz, Giovanni Bernouilli... pretendevano che essa è proporzionale alla forza viva.

I Cartesiani allegavano, in appoggio della loro opinione, che, se due corpi anelastici si vengono direttamente incontro, con velocità inversamente proporzionali alle masse, il loro urto reciproco li riduce in quiete. Dunque, conchiudevano, questi due corpi, prima di urtarsi, possiedono forze eguali e contrarie, che finiscono per distruggersi.

I Leibnitziani s'appoggiavano all'esperienza seguente. Si lasci cadere una palla cava da una certa altezza sopra una materia molle, in cui possa penetrare: si raddoppi, dopo avernela tolta, il suo peso, e la si lasci cadere di nuovo, sulla stessa materia, da una altezza metà di quella da cui è caduta la prima volta; si constaterà che si sprofonda di un'egual quantità. Avendosi nei due casi, lo stesso effetto, se ne conchiudeva che la forza del corpo era la stessa, nel momento che incontrava la materia molle. Ora, i quadrati delle velocità dei corpi, che cadono da diverse altezze, sono proporzionali alle altezze di caduta. Dunque, dicevano, perchè due corpi in movimento abbiano forze eguali, bisogna che i quadrati delle velocità siano inversamente proporzionali alle masse.

Tutta la difficoltà di questa disputa dipendeva da ciò che non si era previamente definito l'oggetto della discussione, dicendo che cosa dovevasi intendere per forza di un corpo in movimento.

Un corpo in movimento, abbandonato a sè stesso, non

Digitized by Google

esercita nè riceve alcuna forza, e se si domanda qual forza ha prodotto il suo movimento, e qual forza la annullerebbe, questa questione è indeterminata. Innanzi tutto, la forza può essere supposta variabile o costante. Se si ammette, per semplificar la questione, che sia costante, ciò non basta per calcolarne il valore: bisogna ancora prendere in considerazione un tempo od uno spazio: sia il tempo, che ha durato l'azione della forza, sia lo spazio, che ha percorso il mobile, sotto l'azione della forza.

Se si considera il tempo, la soluzione del problema è data dalla prima delle equazioni precedenti, che diventa in questo caso

$$Ft = mv.$$

Se si considera lo spazio, la soluzione è data dalla seconda equazione, che diventa nel caso attuale

$$Fs = \frac{1}{2} mv^2.$$

Così, i filosofi, che, come Descartes, misuravano la forza di un corpo per mezzo del prodotto della massa per la velocità, chiamavano forza la quantità complessa Ft, che noi chiamiamo impulso, e che è eguale alla quantità di moto. Quelli che, come Leibnitz, misuravano la forza col prodotto della massa pel quadrato della velocità, davano il nome di forza alla quantità complessa Fs, che noi chiamiamo lavoro, e che è eguale alla metà del prodotto della massa pel quadrato della velocità.

Se si vuol sapere quale di due corpi, che si vengono incontro direttamente, strascinerà l'altro, bisogna considerare il prodotto Ft, numericamente eguale alla quantità di moto, poichè l'azione dei due corpi, l'uno sull'altro, dura lo stesso tempo. Se si tratta di sapere quale dei due corpi

Digitized by Google

penetrerà di più in un corpo molle, bisogna considerare il prodotto Fs, numericamente eguale alla metà del prodotto della massa pel quadrato della velocità, poichè il penetramento corrisponde ad uno spazio percorso.

Vedesi adunque che la famosa disputa si riduce ad una question di parole, come lo fece vedere, fin dal 1743, d'Alembert. Infatti « i due partiti » egli dice, « sono pienamente d'accordo sui principii fondamentali dell'equilibrio e del movimento. Propongasi lo stesso problema « di meccanica a due matematici, l'uno partigiano e l'altro « avversario delle forze vive, le loro soluzioni, se sono « buone, saranno pienamente d'accordo. »

Accade qui, press'a poco, quello che accade nelle controversie degli spiritualisti coi materialisti. Benchè divisi sulle credenze nell'esistenza di Dio e dell'anima, convengono tutti della stessa morale, se sono sinceri, e pensano egualmente che non vi può essere felicità per l'uomo, se non nella pratica rigorosa della virtù.

Fu ammesso per lungo tempo, e qualcuno lo ammette ancora oggidì, che esistano in natura due specie di forze: le une supposte senza durata, e capaci di produrre nei corpi bruschi cangiamenti di velocità, senza farli passare per stati intermedii, le altre agenti senza interruzione, continuamente, e tali per conseguenza da non produrre un effetto sensibile che dopo un tempo apprezzabile. Le prime si chiamavano *forze istantanee* o di *percossa*, le seconde *forze acceleratrici*.

Noi abbiamo mostrato che una forza costante è eguale alla quantità di moto, che produce, divisa pel tempo impiegato a produrla: donde risulta che, per una stessa quantità di moto, una forza è tanto più grande quanto più

Digitized by Google

breve è la durata della sua azione, e che soltanto una forza infinita potrebbe produrre una determinata quantità di moto, in un tempo infinitamente breve.

Di là si vede quanto è contraria ad ogni sana fisica il concetto delle forze istantanee. Perciò, esso fu respinto da Poncelet, da Coriolis, ecc.: cionondimeno si trova ancora in taluno di quei trattatelli di meccanica, ordinariamente ben mediocri, che si sogliono porre come introduzione ai corsi di fisica. Di là ogni sorta di difficoltà e d'oscurità.

Capita di leggere, per esempio, che un corpo, lanciato nel vuoto, è sottoposto all'azione di due forze: la forza di *proiezione*, forza istantanea, e la forza della *gravità*, forza acceleratrice; e che, in virtù di queste due forze, il corpo descrive la parabola.

Ciò non è punto esatto: dacchè il corpo ha ricevuto una velocità iniziale dalla mano, dalla esplosione della polvere, o da un altro mezzo qualsiasi, la forza, che lo ha spinto, cessa, ed esso non è più sottoposto che ad una forza eguale al suo proprio peso, se si fa astrazione della resistenza dell'aria.

Analogo errore commettono quelli che attribuiscono il movimento di un pianeta intorno al sole all'azione di due forze: la forza di proiezione del pianeta, e la forza d'attrazione del sole.

Varii autori di trattati di *Meccanica*, fra i quali l'illustre Poncelet, impiegano l'espressione di *forza d'inerzia*.

Secondo il lor modo di credere, una forza non può modificare lo stato di movimento o di quiete di un corpo, senza far nascere contemporaneamente una resistenza eguale ed opposta, che è la *forza d'inerzia*. È ciò che noi chiamiamo la *reazione del corpo*.

Digitized by Google

L'introdurre tal forza, la cui azione non si fa sentire che quando una forza effettiva agisce sul corpo, ci sembra, se non dannoso, almeno inutile: poichè complica il linguaggio, e si presta all'equivoco, lasciando credere che l'inerzia sia una forza.

Nei corpi non vi ha alcuna resistenza alle forze, poichè la minima forza, che agisse da sola sopra un corpo qualsiasi, potrebbe metterlo in moto. Il colpo d'ala di un moscerino metterebbe in moto una pesante carrozza, se fosse tolta ogni resistenza. La sola differenza, che passa fra una grande ed una piccola forza, sta in ciò che la seconda, per imprimere ad un corpo la stessa velocità, deve agire per un tempo più lungo della prima.

Per esempio, se otto cavalli possono imprimere, in un secondo di tempo, una velocità di un metro ad una carrozza pesante 10,000 chilogrammi, un topo, aggiogato alla stessa carrozza, non perverrebbe ad imprimerle la stessa velocità di un metro, che dopo un numero di secondi eguale al rapporto della forza di trazione di otto cavalli alla forza di un topo. È ben inteso che si fa astrazione della resistenza del terreno e dei diversi attriti, poichè, altrimenti, il topo non arriverebbe mai a smuovere la carrozza.

Ci sembra che il concetto della forza d'inerzia non può avere altro risultato che quello di far nascere l'idea inesatta, che ha durato abbastanza, che vi sia nei corpi in moto una forza insidente, una *vis insita*, che è ad ogni istante la causa attuale del moto, ciò che non accade, se alla parola *forza* si associa l'idea di uno sforzo, d'una pressione, o d'una trazione.

La forza non è la causa sussistente di ogni movimento

Digitized by Google

esistente, è la causa che modifica ogni movimento variabile.

II.

Noi passiamo ora a discorrere di un significato della parola *forza*, che nel linguaggio volgare occupa forse il primo posto. Quante volte si sente parlare della *forza di una caseata d'acqua*, della *forza della polvere da cannone*!.. Che cosa intendesi per forza in queste locuzioni, e in una moltitudine di altre consimili?

Sicuramente, qui non s'intende parlare di una pressione, o di una trazione, esprimibile in chilogrammi. In queste frasi alla parola *forza* si associa il senso di una *disponibilità al lavoro*, cioè della quantità di lavoro, che può ricavarsi da un motore, o da un agente qualunque.

Consideriamo, ad esempio, un serbatoio d'acqua collocato a certa altezza. Facendo cadere quest'acqua sopra ruote idrauliche, o facendola agire sopra macchine a colonna d'acqua, se ne può ricavare un certo lavoro, che può impiegarsi a macinar biada, o ad un altro scopo qualunque.

Un chilogramma di polvere rappresenta un lavoro, che può utilizzarsi, sia per minare un ceppo, sia per imprimere ad una palla una ragguardevole velocità.

In questi casi, ed in altri analoghi, si chiama *forza* la capacità di lavoro. Ora, siccome il lavoro si esprime in chilogrammetri, la misura delle forze di questa natura deve essere in chilogrammetri.

Se non vogliamo esporci a confondere la forza, presa da questo punto di vista, colla forza, che si misura in chilogrammi, è necessario dare alla prima un nome speciale.

Digitized by Google

In Inghilterra si cominciò ad impiegare, per ciò, il nome di *energia*, distinta in *energia potenziale* ed *energia attuale* o *cinetica*.

Una molla ravvolta è un'energia potenziale: essa è il magazzino del lavoro, che bisognò spendere per ravvolgerla, lavoro che, svolgendosi, può restituire, di nuovo. Una palla da fucile, che esce dall'arme, è un'energia attuale o cinetica, che si trasforma in lavoro, quando incontra un ostacolo.

Se spettasse a noi proporre un vocabolo, preferiremmo, come atto a designare la capacità di lavoro, il nome *potenza*, poichè la parola *energia* sembra indicare, piuttosto che il risultato dell'azione della forza, durante un certo spazio, l'intensità della forza stessa. La distinzione, che tra *forza* e *potenza* si fa nel linguaggio ordinario, sembra giustifichi abbastanza il senso scientifico, che noi vogliamo associare all'uno ed all'altro vocabolo.

Per conseguenza, noi proporremmo di distinguere la potenza in *potenza disponibile* e *potenza viva*. Una molla compressa è una potenza disponibile: una corrente d'acqua, o d'aria, sono potenze vive.

La potenza si distingue, essenzialmente, dalla forza in ciò che essa si consuma e si spende nel produr certi effetti, laddove la forza sussiste, finchè dura l'azione che l'ha generata.

Per esempio, si carica un orologio da torre, sollevando un peso a certa altezza. Il peso così sollevato, nel discendere, imprime il moto all'orologio: e, quando esso è arrivato al basso della sua corsa, il movimento s'arresta, perchè si è tutta consumata la potenza di cui, al principio, si disponeva; bisogna far risalire il peso, perchè il mo-

Digitized by Google

vimento ricominci. Al contrario, il peso di cui si caricano corpi, che si voglion comprimere, può essere abbandonato a sè stesso, e continuerà ad agire nella stessa maniera, per un tempo indefinito.

Una massa d'aria compressa esercita contro le pareti del recipiente, che la contiene, una pressione la cui durata non ha limite; ma, se le pareti cedono, l'aria, colla sua successiva espansione, spenderà, grado per grado, tutta la potenza, che possedeva, e che non si può renderle, senza sottoporla ad una nuova compressione.

Importa di notare che, ogniqualvolta si consuma una potenza, si produce un'altra potenza equivalente. Spesso quest'ultima non appare, pure essa esiste; e non havvi mai spesa di potenza, senza rimborso.

Così, nel secondo esempio di cui fu questione, se si impiega la espansione del gas, per mettere in gioco una tromba, che sollevi un peso d'acqua a certa altezza, si potrà utilizzare la caduta di quest'acqua per far operare una macchina destinata a comprimere una massa d'aria. Se le macchine, che si impiegano, non fossero soggette ad alcuna perdita di potenza, alla fine di un siffatto ciclo di trasformazioni, si dovrebbe ottenere l'aria compressa allo stesso grado a cui si trovava compressa al principio, per modo che la quantità di potenza iniziale resterebbe costante, a traverso tutte queste sue trasformazioni.

Sembra, spesso, che non abbia luogo questa completa riproduzione della potenza, perchè una parte ne scompare, cammin facendo, per ricomparire sotto un'altra forma. Così, gli urti, gli attriti, la resistenza dell'aria, ecc. sono altrettante cause, che distruggono, apparentemente, una parte, più o meno grande, di potenza; ma, queste resi-

Digitized by Google

stenze generano una quantità di calore, che potrebbe, alla sua volta, convertirsi in lavoro, e che rappresenta, virtualmente, la potenza che sembra essersi perduta.

Altrettanto si deve dire di tutte le diminuzioni, che provano, apparentemente, le potenze, di qualunque specie poi siano.

Nel caso dell'orologio, tutto il lavoro motore, tutta la potenza immagazzinata nel caricare l'orologio, si trasforma in calore, col moversi delle ruote, di cui esso è composto. Se si potesse raccogliere tutto questo calore, che mano mano si svolge, ed impiegarlo, senza perderne punto, a sollevare un peso, si riuscirebbe a ricaricare l'orologio.

Giova notare come la quantità di calore, che genera questo movimento, e che si dissipa nei corpi circostanti, sia precisamente eguale a quella che, in seguito al lavoro compiuto, è scomparsa dal corpo dell'uomo, cha ha caricato l'orologio, — calore, ch'esso ha ricavato dalla combustione degli alimenti di cui si è nutrito.

Da lunghissimo tempo, vi sono pensatori disposti a credere che la potenza debba considerarsi come indistruttibile e invariabile, del pari che la materia. Descartes aveva intraveduto che, sebbene i corpi di un sistema continuamente si riurtino, sebbene il movimento si distribuisca, senza posa, inegualmente, dagli uni agli altri, vi dev'essere, in fondo di tutto ciò, qualche cosa di costante, di perpetuo; ed egli ha creduto che fosse la quantità di moto, misurata dal prodotto della massa per la velocità. Leibnitz vi sostituì la forza viva, misurata dal prodotto della massa per il quadrato della velocità.

Nè il principio di Descartes, nè quello di Leibnitz, non

Digitized by Google

sono esatti, — per lo meno nel modo in cui si enunciavano. Però, consideriamo due corpi, animati da velocità inversamente proporzionali alle loro masse, i quali si vengano incontro, e l'uno possa penetrare nell'altro, così da restarvi congiunto; immaginiamo, per esempio, che una palla, scagliata da un fucile, e un pezzo di legno, si vengano incontro, con velocità inversamente proporzionali alle masse; supponiamo che i due corpi non siano sottoposti a nessuna forza esterna, onde non subiscano altre azioni che quelle che risultano dall'urto; sappiamo, allora, che, in seguito all' urto, si ridurranno in quiete.

Ecco, dunque, un sistema abbandonato a sè stesso, in cui la quantità di moto si annulla, per sole reazioni delle parti, che lo compongono. Qui, dunque, il principio di Descartes si trova deficiente.

Altrettanto dicasi del principio di Leibnitz, poichè anche la forza viva si annulla, in conseguenza dell' urto.

Nell' esperienza considerata, accade un fatto, — a cui non hanno posto attenzione nè Descartes, nè Leibnitz, — il quale consiste in ciò che, in seguito all' urto, si manifesta una cosa, che non esisteva prima, e che si deve risguardare come l' equivalente della potenza viva scomparsa.

Questa cosa è il calore, che si svolge, per effetto dell' urto.

Si ripeta l' esperienza, con qualunque velocità, con qualunque massa: e si troverà sempre che la quantità di calore prodotta è proporzionale alla potenza viva perduta.

Questo calore, raccolto e utilizzato in una macchina termica perfetta, potrebbe restituire integralmente la potenza scomparsa: e così, ove si tenga conto di esso, si può dire che la potenza totale non subisce nessuna perdita.

Digitized by Google

Era serbato al nostro secolo di scoprire che, ogniqualvolta scomparisce potenza meccanica, sia per urto che per attrito, si manifesta un'equivalente quantità di calore; e, viceversa, che il calore, ogniqualvolta scomparisce, produce un lavoro meccanico, o una potenza, equivalente. Così, la potenza meccanica può trasformarsi in calore, e, reciprocamente, il calore può trasformarsi in potenza meccanica.

Il calore è dunque una potenza paragonabile alla potenza meccanica.

Si è riconosciuto che una simile trasformazione può aver luogo fra tutti gli agenti fisici, che, una volta, erano chiamati fluidi imponderabili: vale a dire, tra il calore, l'elettricità, il magnetismo, la luce; si giunse in tal modo a stabilire come un principio che TUTTE LE POTENZE NATURALI POSSONO CONVERTIRSI, LE UNE NELLE ALTRE, SECONDO DETERMINATI RAPPORTI.

Ammesso questo principio come un fatto sperimentale, ne segue che LA SOMMA DI TUTTE LE POTENZE DI UN SISTEMA ABBANDONATO A SÈ STESSO È COSTANTE. — Per *sistema abbandonato a sè stesso* intendiamo un sistema completamente isolato, che non riceve dal di fuori, nè al di fuori comunica, alcuna potenza. Ed infatti, la ragione non può ammettere che qualche cosa possa annullarsi, o ricavarsi dal nulla.

Questa legge, che regola tutti i fenomeni, è di un grado elevatissimo, e si deve considerare come una delle più belle conquiste, che abbia fatto lo spirito umano, nel nostro secolo. Essa è una generalizzazione del principio meccanico della *conservazione delle forze vive*, che Huyghens pare abbia veduto pel primo, e che Giovanni Bernoulli fece una

Digitized by Google

legge di natura, secondo la quale la somma delle forze vive di tutti i corpi, che costituiscono un sistema, è costante; ma, questo principio non è generale, e non sussiste più, nel caso in cui, per la mutua azione dei corpi, si producono bruschi mutamenti nelle loro velocità, — a meno che i corpi non siano perfettamente elastici. Allora, si dice che vi è perdita di forza viva. Se, in questo caso, si tien calcolo del calore prodotto, si compenserà la perdita apparente, e il principio sussisterà in tutta la sua generalità.

Dunque, ove si tenga calcolo, non solo dei movimenti sensibili e delle forze misurabili al dinamometro, ma eziandio delle potenze di un'altra natura, quali sono il calore, l'elettricità, il magnetismo, si riconoscerà come sia invariabile la somma di tutte le potenze di un sistema abbandonato a sè stesso.

Questo principio è venuto ad appoggiare un'opinione, già sostenuta dagli antichi, secondo la quale il calore, l'elettricità ecc. potrebbero non esser altro che tante modalità speciali del movimento degli atomi della materia.

Infatti, se si risguardano questi agenti come gli effetti del moto, che anima le ultime particelle della materia, si concepisce come la potenza viva totale di un sistema, si mantenga costante, attraverso tutte le trasformazioni, che possono aver luogo nelle sue parti.

Seguendo lo stesso ordine di idee, si è fin tentato di spiegare la gravitazione universale, la coesione, l'affinità chimica, col movimento di un etere, che riempie lo spazio.

Così, noi siamo indotti a non vedere, in natura, altro che materia e movimento, indistruttibili entrambi, e causa di tutti i fenomeni, mediante una moltitudine di trasformazioni.

Questa sintesi fisica quanto è seducente, e quanto piace

Digitized by Google

all'immaginazione, per la facilità, che le porge, di rappresentarsi i fenomeni e i loro successivi cangiamenti! — Pure, ci rimane ancora da conoscere qual'è, in molti casi, l'andamento dei fatti, e con qual meccanismo si compiono certi fenomeni speciali. Insomma, vi sono ancora grandi lacune da riempire; e questo dev'essere lo scopo della fisica moderna.

Siamo, così, ricondotti all'*atomismo*, professato da Democrito, da Gassendi, da Descartes. Ma, se, a quei tempi, non era che un sistema filosofico, in appoggio del quale non si poteva addurre nessuna delle serie prove, che esige la vera scienza, oggi è un'ipotesi fisica sostenuta da molti fatti, ed assai vicina a diventare una verità.

Secondo un tal modo di vedere, ciò che noi chiamiamo *forza* non esisterebbe in natura; la forza sarebbe semplicemente l'effetto di una trasmissione di moto. Ci libereremmo, così, da queste forze, a cui certi fisici attribuiscono non so quale propria esistenza, risguardandole come elementi costitutivi dell'universo.

— Ci resta a parlare di un significato della parola *forza*, impiegato continuamente dai pratici, quando dicono: *la forza di una corrente d'acqua, di una macchina a vapore, di un cavallo, di un uomo.*

Il tempo non ha a che fare coll'idea, che abbiamo del lavoro, e, in generale, della potenza, nel senso, che vi abbiamo annesso; ma figura necessariamente nell'idea di una sorgente indefinita di lavoro o di potenza.

L'acqua, accumulata in un serbatojo ad un certo livello, donde può cadere ad un livello inferiore, quando si vuole impiegarla, come motore, ci dà l'idea di una provvisione di lavoro: è una potenza disponibile determinata.

Digitized by Google

Un corso d'acqua, che scorre continuamente, ci dà l'idea di una sorgente indefinita di lavoro. Si sente la necessità di paragonare il lavoro, che può rendere questo corso d'acqua, a quello che può renderne un altro. Vi si giunge, valutando il numero di chilogrammetri, che l'uno e l'altro può mettere a nostra disposizione, in un secondo di tempo.

Allo scopo di non aver da trattare numeri assai grossi, si è convenuto di chiamare *forza di un cavallo*, o, semplicemente, *cavallo-vapore*, il lavoro di 75 chilogrammetri per secondo.

Giusta la nostra definizione della forza, l'espressione *forza di un cavallo* è viziosa, e bisogna sostituirvi quella di *potenza di un cavallo*, la quale corrisponde perfettamente all'espressione inglese *horse power*.

Il nome di *forza* non conviene maggiormente per designare un lavoro prolungato indefinitamente, il quale conserva valori eguali, in tempi eguali. A parer nostro, non vi è alcun inconveniente nel chiamare *potenza* questa quantità in cui figura il tempo. Infatti, le espressioni *potenza di una macchina a vapore, potenza di un animale, potenza di un corso d'acqua*, suppongono sempre che la potenza si misuri col numero di chilogrammi, che questi motori possono sollevare ad un metro d'altezza, durante l'unità di tempo.

— La considerazione dei fenomeni, manifestati dagli esseri viventi, ha dato origine all'espressione *forza vitale*. Essa è il principio, che presiede alle funzioni dei corpi organizzati viventi. Gli uni lo considerano come indipendente dall'organismo, gli altri come risultante dalla organizzazione medesima.

Ci guarderemo bene dall'impegnarci nella questione sca-

Digitized by Google

brosa del sapere se la forza vitale è, o non è, una entità distinta; faremo, solamente, osservare che il principio della vita, qualunque sia, non può intervenire che mettendo in giuoco le potenze fisiche del corpo, senza aggiungervi un contingente di potenza. Infatti, non si può concepire in qual modo un essere organizzato, facente parte di un sistema abbandonato a sè stesso, potrebbe, aumentare o diminuire la quantità totale di potenza, contenuta nel sistema, usando, semplicemente, della sua volontà. Ciò che si chiama forza vitale, non si manifesta che dando origine a forze eguali e contrarie, due a due, fra gli elementi materiali dei nostri organi. « Risulta da ciò, che un animale, « per quanto faccia, non potrà mai spostare il proprio centro di gravità, col solo volerlo, e senza ricorrere ad un « punto d'appoggio esteriore. L'uomo e gli animali possono « innalzare, e abbassare, verticalmente il proprio centro « di gravità, appoggiandosi sulla terra; possono, avanzarsi « orizzontalmente, mediante l'attrito contro la superficie « di essa; ma la locomozione tornerebbe loro impossibile, « sopra un piano perfettamente levigato, dove questa re- « sistenza fosse affatto insensibile [1]. »

Così, un uomo non potrebbe imprimersi una rotazione complessiva, intorno alla verticale passante pel suo centro di gravità, stando sopra un piano perfettamente levigato; poichè non può procurarsi un tal movimento che traendo forza dal suolo, mediante l'attrito.

Concludiamo che la parola *forza*, nell'espressione *forza vitale*, non ha alcuno dei significati di cui la meccanica si occupa, ma soltanto un senso metaforico, come in una

[1] Poisson. — *Trattato di meccanica*, t. II, p. 151.

Digitized by Google

moltitudine d'altre frasi, dove questa parola fu trasportata dal proprio al figurato.

III.

Da tutto ciò che precede, risulta che, fatta astrazione dei sensi metaforici, la parola *forza* riceve due significati principali: quello di una pressione o tensione, e quello di una capacità di lavoro.

Per farci una chiara idea dei due sensi distinti, che si annettono alla parola *forza*, non abbiamo che da immaginare una massa d'aria compressa. Quest'aria esercita sulle pareti del vaso, che la contiene, una certa pressione: — ecco il primo senso. Lasciando dilatare quest'aria, si può sollevare un peso ad una certa altezza, oppure, imprimere ad un corpo una certa velocità, — come si fa nel fucile ad aria: ed ecco spiegato il secondo senso.

Per evitare l'equivoco, noi limitiamo il significato della parola *forza* a dinotare semplicemente la pressione, e chiamiamo *potenza* la facoltà di produrre un certo lavoro, e di imprimere ad un corpo una certa velocità. La forza si esprime in chilogrammi, la potenza in chilogrammetri.

La potenza si divide in *potenza disponibile* e *potenza viva*.

Un peso, stando sopra un piano orizzontale, esercita contro il piano una forza esprimibile in chilogrammi. Lo stesso peso, collocato a una certa distanza, al di sopra del piano, su cui può cadere, rappresenta una potenza disponibile, che si può esprimere in chilogrammetri. Lasciato cadere, esso acquisterà, alla fine della sua corsa, una certa potenza viva, — eguale alla metà del prodotto della massa pel quadrato della velocità, — esprimibile, essa pure, in

Digitized by Google

chilogrammetri. Mediante questa potenza viva, il nostro peso potrà risalire alla stessa altezza, donde è caduto: basterà, per ciò, che sia perfettamente elastico, e che il piano, parimente, lo sia.

La forza e la potenza, intese così, son due cose affatto distinte, che non si possono paragonare fra loro, nel modo stesso che una linea non si può paragonare ad una superficie.

Tuttavia, si paragona, talvolta, un peso, che, da una certa altezza, cade sopra un corpo, a una pressione esercitata, senza velocità iniziale sul corpo medesimo. Ma, allora, si considerano solamente gli effetti fisici, che possono produrre l'urto e la pressione. Si può, per esempio, paragonare l'urto prodotto da un peso caduto da una certa altezza, sopra una sostanza, che, per conseguenza, si comprime, al peso che, posato sulla stessa sostanza, vi produrrebbe un'egual compressione. Ma in questo caso, eziandio, il peso senza velocità iniziale discende da una certa altezza, per produrre la compressione, così che vi è pressione e spazio descritto, donde produzion di lavoro.

Così in entrambi i casi, si considera una serie di pressioni, che si succedono senza nessuna interruzione, producendo la deformazione del corpo. Però, ciò che si fa realmente è paragonare una forza viva ad un lavoro, e non già un urto ad una pressione.

È cosa della maggiore importanza non confondere le forze colle potenze; ed alcuni, per ciò solo che non pongono sufficiente attenzione nel distinguerle, si abbandonano, talvolta, alle idee più vaghe.

Con una forza piccolissima si può fare equilibrio ad una forza grandissima, mediante un punto di appoggio; ma,

Digitized by Google

con una data potenza, non si potrà mai ottenere una potenza maggiore, qualunque macchina s'impieghi.

Quando una piccola forza equilibra una forza ragguardevole, non è dalla prima che la seconda è distrutta, ma, bensì, dalla resistenza dei punti fissi. La piccola forza non distrugge, realmente, che una ben piccola parte della grande, e gli ostacoli fanno il resto.

Se Archimede avesse avuto quella leva e quel punto fisso, che chiedeva, non egli avrebbe sostenuto il globo della terra, — ma il suo punto fisso. Tutta la sua arte sarebbe stata, non già nel sostenere il globo, ma nel farlo sostenere, quasi interamente, dal punto fisso. Se, in vece, si fosse trattato di produrre un movimento effettivo, Archimede avrebbe dovuto ricavarlo tutto da sè: e il movimento non sarebbe stato che piccolissimo, dopo un lunghissimo tempo.

Ammesso che la densità media della terra sia cinque volte e mezza quella dell'acqua, e che il lavoro giornaliero, che può dare un uomo, agendo sopra una manovella, sia di 172800 chilogrammetri, si trova che, per sollevare all'altezza di 1 millimetro, un peso eguale a quello della terra, sono necessarii più di 900000 milioni di secoli: per modo che, se Archimede vivesse ancora, e avesse lavorato continuamente, pei venti secoli che ci separano da lui, non sarebbe ancora riuscito a sollevare la terra della quarantacinque millesima parte di un milionesimo di millimetro.

Ci riassumeremo, dicendo che, nello stato attuale della scienza, si è indotti sempre più a non vedere in natura altro che materia e movimento, indistruttibili entrambi. Però, bisogna rappresentarsi, nell'universo, una quantità invariabile d'atomi materiali, animati da velocità diverse,

Digitized by Google

i quali si aggruppano in sistemi, per formare molecole e corpi. Da uno scambio del movimento, fra le varie masse, nascono *forze* esprimibili in chilogrammi. Queste forze, agendo per determinati spazii, servono d'intermedio per trasformare le *potenze vive* in *potenze disponibili*, e *viceversa*, — potenze, che si valutano in chilogrammetri.

Le forze sono transitorie, mentre le potenze sono imperiture. La potenza totale di un sistema abbandonato a sè stesso, e, in generale, quella dell'intero universo, è invariabile, e costantemente eguale alla somma della potenza viva e della potenza disponibile, le quali, variando continuamente nella loro proporzione relativa, producono tutti i fenomeni della natura.

Digitized by Google

Digitized by Google

CORRELAZIONE DELLA FORZA VITALE COLLE FORZE FISICO-CHIMICHE

PER GIUSEPPE LE CONTE

PROFESSORE DI GEOLOGIA E DI STORIA NATURALE

NELLA UNIVERSITÀ DI CALIFORNIA.

Digitized by Google

Digitized by Google

CORRELAZIONE DELLA FORZA VITALE COLLE FORZE FISICO-CHIMICHE.

La forza vitale: — donde proviene? Qual relazione ha colle altre forze della Natura? — La scienza moderna così risponde a queste domande: Essa proviene dalle forze inferiori della Natura: ha colle altre forze relazioni più strette di quelle ch'esse hanno, tra loro: è collegata colle forze fisiche e chimiche.

Una volta si supponeva che la materia fosse distruttibile. In seguito alla combustione e alla evaporazione, si credeva che la materia si consumasse, — che cessasse d'esistere; ora, invece, sappiamo ch'essa cangia solamente di forma, passando dallo stato solido, o liquido, allo stato aeriforme, — dallo stato visibile all'invisibile, — e che, fra tutte queste trasformazioni, se ne mantiene la stessa quantità. La creazione e la distruzione della materia, l'aumento e la diminuzione delle quantità che ne esiste in natura, stanno oltre il dominio della scienza, il quale si limita, completamente, alle trasformazioni, che la materia può subire. Ora, secondo la teoria della scienza moderna, lo stesso avviene per la forza. Sembra, molte volte, che la forza si annienti. Due palle da cannone, di egual massa, ed animate da eguali velocità s'incontrano,

Digitized by Google

e cadono, perdendo ogni movimento. L'immensa energia, che questi corpi possedevano durante il moto, sembra che cessi d'esistere. Ma non è così; essa si trasforma in calore, e la quantità di calore, che si genera, si può esattamente calcolare; anzi, una tale quantità di calore si può nuovamente trasformare in una forza viva eguale a quella che le due palle possedevano. In questo caso, adunque, la forza non si distrugge, ma non fa che passare da una forma visibile ad una invisibile. Il movimento della massa si cangia in un movimento delle molecole. Così, il calore, la luce, l'elettricità, il magnetismo, l'affinità chimica e la forza meccanica si possono convertire, in tutti i sensi, l'una nell'altra; ma, fra tutte queste trasformazioni, si mantiene la stessa quantità di forza. La forza non è suscettibile di distruzione, se non per virtù dello stesso potere, che l'ha creata. Il dominio della scienza giace tra i limiti delle trasformazioni — la creazione e l'annullamento ne stanno al di sopra.

La mutua convertibilità delle forze, l'una nell'altra, si dice *correlazione delle forze*; la persistenza della stessa quantità, sotto tali aspetti trasformabili, si dice *conservazione della forza* [1].

[1] Nelle opere più recenti si adopera la parola *energia* per dinotare la forza attiva, o convertibile in lavoro, distinta dalla forza passiva o non convertibile in lavoro. È soltanto nella prima condizione che la forza si conserva, epperò *conservazione dell'energia* è l'espressione più propria. Cionondimeno, poichè la distinzione tra la forza e l'energia è imperfetta, e non affatto definita, nelle forme superiori della forza, e specialmente nel dominio della vita, ho preferito, in questo articolo, di usare la parola *forza* nel senso generale, usualmente attribuitole, fino a questi ultimi tempi. Potrò usare, qualche volta, anche la parola energia. Se qualcuno mi rimproverasse di una mancanza di precisione nel lin-

Digitized by Google

La correlazione, che lega le varie forze fisiche, l'una coll'altra e colla chimica, è ora universalmente riconosciuta, e, in certi casi, nettamente si percepisce. Non è altrettanto universalmente riconosciuta la correlazione della forza vitale con esse; e, quando pure è riconosciuta, non si percepisce che imperfettamente. Nel 1859 io ho pubblicato una memoria, [1] nella quale ho cercato di dare all'idea della correlazione della forza vitale colle forze chimiche e fisiche, una forma più definita e più scientifica. Le opinioni esposte in quella memoria furono generalmente adottate dai fisiologi. Dopo questa pubblicazione, ho continuato ad occuparmi di tale argomento, e vi ho dato uno sviluppo alquanto maggiore. Ciò che attualmente mi propongo è di riesporre le mie opinioni, ridotte ad una forma più popolare, con quelle aggiunte che, in seguito, ho trovato da fare.

Vi sono quattro piani d'esistenza materiale, che si possono rappresentare disposti, l'uno al di sopra dell'altro, e sono: 1. Il piano dell'esistenza elementare. 2. Il piano dei composti chimici, o regno minerale. 3. Il piano dell'esistenza vegetale. 4. Il piano dell'esistenza animale. Le relazioni, ch'essi hanno, l'uno coll'altro, si trovano completamente espresse, collo scriverli, l'uno al disopra dell'altro, nel seguente modo:

4. *Regno animale.*
3. *Regno vegetale.*
2. *Regno minerale.*
1. *Elementi.*

guaggio, questa è la mia risposta: Il nostro linguaggio non può essere più preciso, finchè le nostre idee, in questo campo, non sono assai più chiare che attualmente non siano.

[1] *American Journal of Science.* Novembre 1859. — *Philadelphia Magazine.* v. XIX. p. 133.

Digitized by Google

Ora, è notevole che l'ufficio di elevare la materia, da ciascuno di questi piani, a quello che gli sta di sopra, e di produrre il movimento su quest' ultimo, appartiene ad una forza speciale. Così, ufficio della sola affinità chimica è innalzare la materia del n. 1 al n. 2, e generare tutti i movimenti, di va e vieni, che costituiscono le combinazioni e le decomposizioni: in una parola, produrre tutti i fenomeni del n. 2, i quali concorrono a costituire la scienza della chimica. Prerogativa della sola forza vitale vegetale è trasportar la materia del n. 2 al n. 3, ed effettuare, su quest'ultimo piano, tutti quei movimenti, che, complessivamente, costituiscono la scienza della fisiologia vegetale. Prerogativa della sola forza vitale animale è trasportar la materia del n. 3 al n. 4, e presedere ai movimenti, che si eseguiscono su questo piano, i quali costituiscono la scienza della fisiologia animale. Ma non vi è forza, in Natura, capace di elevar la materia, in una sola volta, dal n. 1 al n. 3, o dal n. 2 al n. 4, senza passare pel piano intermedio, per ricevervi un' aggiunta di forza, di specie diversa. Le piante non possono nutrirsi di elementi, ma soltanto di composti chimici; gli animali non possono nutrirsi di minerali, ma solamente di vegetali. Noi vedremo, in seguito, che ciò è necessaria conseguenza del principio della conservazione della forza, applicato ai fenomeni vitali.

È un fatto ben conosciuto che gli atomi, allo stato nascente, — vale a dire, nell' istante della loro separazione da una previa combinazione — si trovano dotati di una particolare e potente affinità. L'ossigeno e l'azoto, l'azoto e l' idrogeno, l' idrogeno e il carbonio, che, nelle condizioni ordinarie, non rivelano nessuna affinità, l' uno per

Digitized by Google

l'altro, con tutta facilità si combinano, quando sono, entrambi, allo stato nascente. Sembra che la ragione di questo fatto stia in ciò che, quando gli elementi di un composto sono disaggregati, l'affinità chimica, che prima li collegava insieme, si trova libera, pronta e avida di unirli, mentre si svolgono, con quanto vien loro a contatto. Questo stato di esaltata affinità chimica non si mantiene che per poco tempo, poichè è suscettibile di una trasformazione in un' altra forma della forza, probabilmente in calore, in seguito alla quale cessa d'esistere come energia chimica. Per illustrare questo fatto, mediante la rappresentazione dei piani, possiamo dire che una certa quantità di materia, cadendo dal n. 2 al n. 1, genera la forza necessaria per innalzarne un' altra dal n. 1 al n. 2. La decomposizione genera la forza, in virtù della quale si effettua la combinazione. Questo principio è fondamentale. Ne tratteremo ancora.

Due idee, o principii che li vogliamo dire, informano, dunque, questa memoria: 1. La correlazione della forza vitale colle forze fisico-chimiche. 2. Il principio che, in tutti casi, *la forza vitale si produce in seguito a decomposizione,* — si trasforma in affinità nascente. Nè l'uno nè l'altro principio può dirsi nuovo. Grove, molti anni or sono, espose, vagamente, l'idea che la forza vitale fosse collegata colle forze fisico-chimiche [1]. Nel 1848, il dottor Freke, M. R. I. A, di Dublino, avanzò, primo di tutti, l'opinione che la forza vitale degli animali fosse generata dalla decomposizione. Nel 1851, la stessa opinione fu nuo-

[1] Nel 1845 il dottor G. R. Mayer pubblicò una memoria: « Il movimento organico e la nutrizione. » Io non l'ho veduta.

Digitized by Google

vamente esposta dal dottor Watters, di S. Louis. Queste memorie mi erano ignote, quando io scrissi il mio articolo; e non mi furono mandate, dai rispettivi autori, che in questi ultimi anni. Nessuno però di tutti questi autori estende il principio alla vegetazione: il fenomeno vitale più fondamentale e più importante. Nel 1857 espose la stessa idea il prof. Henry, dell'Istituto Smithsoniano, e da lui fu estesa alla vegetazione. Io, quindi, non mi attribuirò il vanto d'avere questa idea avanzato, pel primo: ma posso dire d'essere stato io quello che la tolse, fino ad un certo punto, dall'incertezza, e che le diede una forma più chiara e più scientifica.

Ora, voglio applicare questi principii alla spiegazione dei più importanti fenomeni della vita animale e vegetale.

— 1. VEGETAZIONE. Il fenomeno più importante nella storia della vita di una pianta — anzi, il punto di partenza d'ogni vita, sia vegetale che animale — è la formazione della materia organica, nelle foglie.

Le condizioni necessarie perchè si produca questa mirabile trasformazione della materia minerale in materia organica sembrano essere la presenza di luce, di clorofilla e di vivente protoplasma, o bioplasma. Ecco il fenomeno di cui voglio ora trattare.

Le materie plastiche, donde è fabbricata la struttura vegetale, sono di due specie: — amiloidi e albuminoidi. Gli amiloidi, — ossia il gruppo degli amidi e degli zuccari — consistono di C, H ed O [1]; gli albuminoidi consistono, invece, di C, H, O, N, più qualche poco di S e di P [2].

[1] Carbonio, Idrogeno e Ossigeno.

[2] Carbonio, Idrogeno, Ossigeno, Azoto, Solfo e Fosforo.

Digitized by Google

Il solfo e il fosforo entrano in quantità piccolissime, e noi tralasceremo di considerarli. I principii sostanziali, con cui sono elaborate queste sostanze sono CO_2, H_2O ed H_3N — acido carbonico, acqua e ammoniaca. Ora, per l'azione della luce, in presenza della clorofilla e del bioplasma, questi composti chimici [CO_2,H_2O,H_3N] sono divisi, spezzati, o decomposti; l'eccesso di O, o di O ed H, viene eliminato; e gli elementi residui, allo stato nascente, si combinano insieme, per costituire la materia organica. Per formare gli amiloidi — amido, destrina, zuccaro, cellulosa — sono solamente decomposti CO_2 ed H_2O, e si elimina un eccesso di O. Per formare, invece, gli albuminoidi, ossia il protoplasma, sono decomposti CO_2, H_2O e H_3N, e si elimina un eccesso di O e di H.

Si vede, così, che, in questo caso, una forza fisica [la luce], si trasforma in forza chimica nascente, e quest'ultima, in particolari condizioni, forma la materia organica, e ricomparisce come forza vitale. La luce, che viene a cadere sulle foglie verdi, viventi, si distrugge, o consuma, nel compiere il lavoro di decomposizione; scomparisce come luce, per ricomparire come energia chimica nascente; e quest'ultima, alla sua volta, scomparisce nel formare la materia organica, per ricomparire come forza vitale della materia organica così formata. La luce, che scompare, è proporzionale all'O, o all'O e all'H, eliminati; è proporzionale alla quantità di materia organica formata, e, finalmente, alla quantità di forza vitale risultante. Per spiegarci: nel caso degli amiloidi, un eccesso di O, cadendo dal piano n. 2 al piano n. 1, genera la forza, che innalza C, H e O, dal piano n. 2, al piano n. 3. Nel caso degli albuminoidi, un eccesso di O e uno di H, cadendo

Digitized by Google

dal n. 2 al n. 1, generano la forza, che innalza C, H, O e N, dal n. 2 al n. 3. Per spiegarci di più: nello stesso modo che il calore del sole, cadendo sopra l'acqua, scomparisce come calore, per ricomparire come forza meccanica, in quanto che solleva l'acqua alla condizione di nube: così, la luce del sole, cadendo sopra le foglie verdi, scomparisce come luce, per ricomparire come forza vitale, in quanto che eleva la materia dal regno minerale al regno organico.

2. GERMINAZIONE. — Abbiamo veduto come la pianta, per crescere, tragga dal sole la sua forza vitale: ma il seme germina, e comincia a crescere, nell'ombra. Evidentemente, esso deve trarre da qualche altra sorgente il suo contingente di forza, poichè non può ricavarlo dal sole. Questo fatto si connette intimamente con un altro, e cioè ch'esso non può prendere il suo alimento dal regno minerale. Il seme, nell'atto della germinazione, si nutre interamente di una certa quantità di materia organica, accumulata, per esso, dalla pianta madre. È la decomposizione di questa materia organica che fornisce la forza di germinazione. I composti chimici sono relativamente stabili, — e per decomporli, è necessaria la luce del sole; la materia organica, invece, si decompone quasi spontaneamente. Può darsi che il calore, [condizione necessaria alla germinazione], sia la forza, che determina la decomposizione. Checchè ne sia, è certo che parte della materia organica accumulata nel seme vien decomposta, abbruciata, con formazione di CO_2 e H_2O, e che siffatta combustione fornisce la forza, in virtù della quale si compie la fabbricazione dei tessuti. In altre parole, l'alimento accumulato in forma di amido, di destrina e di protoplasma,

Digitized by Google

viene decomposto, in parte, per fornire la forza, mediante la quale si organizza la parte rimanente. Si vede di qui che il seme, per germinare, deve diminuire di peso; esso non può svolgersi che a prezzo di consumarsi in parte; « non può animarsi che in seguito a morte. » Questa consunzione del seme continua, finchè non si sono formate le foglie e la radice; allora, esso comincia a trarre la forza dal sole, e a prendere il suo alimento dal regno minerale.

Per spiegarci: Nell'atto della germinazione, una certa quantità di materia, precipitando dal piano n. 3 al n. 2, genera la forza, in virtù della quale altra materia consimile viene spostata, e innalzata ad un grado alquanto più elevato, non uscendo dal piano n. 3. Nello stesso modo che l'acqua, sollevata dal sole, può essere raccolta in serbatoj, donde riversandosi, può eseguire un lavoro: così la materia innalzata, dalla forza del sole, al regno organico di una generazione, rappresenta un contingente di forza, atta a compiere un lavoro, — quello che implica la germinazione della generazione susseguente. E come parte dell'acqua, che passa per un ariete idraulico, precipita e si disperde, allo scopo di generare la forza necessaria per sollevare l'altra parte ad un livello superiore: così, parte della materia organica accumulata nel seme precipita, e si disperde, per creare la forza necessaria ad organizzare il resto.

Si vede allora che, nel fenomeno della germinazione, tre cose — che sono l'assenza di luce solare, l'uso d'alimento organico, e la perdita dipeso, — sono indissolubilmente connesse; e che tutto si spiega, mediante il principio della conservazione della forza.

Digitized by Google

3. Primo sviluppo delle gemme. — Gli alberi a foglie caduche, durante l'inverno, sono interamente privi di foglie. All'aprirsi della primavera, le gemme devono prendere a svolgersi, mentre non vi sono foglie e, per conseguenza, senza ricavar forza dal sole. Quindi, anche per questo caso, una certa quantità di alimento, di forma organica, dev'essere, ed è in fatti, immagazzinata nel corpo dell'albero, dall'anno precedente. Parte di questo alimento si consuma, con formazione di CO_2 e H_2O, per creare la forza necessaria allo sviluppo delle gemme. Tostochè, a questo modo, si sono fermate le foglie, la pianta comincia a trarre forza dal sole, e ad alimentarsi di sostanze minerali.

4. Piante incolore. — I funghi e le piante imbianchite non contengono clorofilla, e non possono, quindi, ricavare la loro forza del sole, nè fabbricare materia organica, mediante l'inorganica. Anch'esse, per conseguenza, debbono alimentarsi di materia organica: non già, propriamente, allo stato di amido, destrina e protoplasma, ma in una condizione di sfacimento. In queste piante la materia organica è presa sotto una forma intermedia a quelle che caratterizzano i piani n. 3 n. 2. La materia presa in tal modo è, in parte, consumata, con formazione, di CO_2 e H_2O, per creare la forza necessaria ad organizzare il resto. Per spiegarci figuratamente: Una certa quantità di materia, cadendo, da un punto intermedio ai piani n. 2 e n. 3, al n. 2, produce una forza bastevole a sollevare materia, dallo stesso punto intermedio, al n. 3; una parte decade, e si disperde, per creare una forza atta a sollevare il resto.

5. Sviluppo delle piante verdi, durante la notte. — Tutti sanno che le piante crescono di notte, come

Digitized by Google

di giorno. Si sa, di più, che, di notte, le piante esalano CO_2. Questi due fatti, però, non sono mai stati, ch'io sappia, collegati tra loro, e col principio della conservazione della forza. Si suppone, ordinariamente, che, di notte, cessi la decomposizione di CO_2 e l'esalazione di O, per la mancanza della luce solare, e che una certa quantità di CO_2 venga esalata, per legge fisica, dal succhio ascendente. Ma con ciò non si spiega come la pianta possa crescere. È evidente che, mentre manca la luce solare, la forza necessaria alla fabbricazione dei tessuti non può derivare che da una decomposizione e combustione di materia organica. Si possono dare due spiegazioni dell'origine di questa materia organica, forse, giuste l'una e l'altra. In primo luogo: Sembra fuor di dubbio che moltissime piante, e specialmente quelle che crescono in terre ricche di *humus*, prendano una parte del loro alimento in forma di materia semi-organica, ossia di *humus* solubile. La combustione di una parte di esso, nelle diverse parti della pianta, per azione dell'ossigeno, pure assorbito dalle radici, con formazione di CO_2, crea, fuor di dubbio, una quantità di forza, così di notte che di giorno, indipendentemente dalla luce solare. La forza così prodotta, mediante la combustione di una parte, può essere adoperata per innalzare il resto allo stato di amido, destrina, ecc., oppure per fabbricare tessuto. Durante il giorno, il CO_2, così prodotto, si decomporrebbe di nuovo, nelle foglie, sotto l'azione della luce solare, donde l'aggiunta di una quantità di forza; durante la notte, esalerebbe [1].

[1] Per maggiori spiegazioni, vedi la mia memoria, *American Journal of Science*, novembre 1859, sesto e settimo capo.

Digitized by Google

In secondo luogo: Può darsi che, durante il giorno, la luce sòlare fabbrichi una quantità di materia organica maggiore di quella che s'impiega nella costruzione dei tessuti, e che una certa quantità di questo eccesso si consumi di nuovo, formando CO_2 e H_2O, allo scopo di continuare, durante la notte, il processo di costruzione. Così, la pianta, durante il giorno, accumulerebbe forza solare bastevole a continuare il lavorio, durante la notte. Fu suggerito dal Dott. Draper [1], benchè non provato, e nemmeno reso probabile, che la forza di costruzione dei tessuti [forza plastica] derivi sempre da decomposizione, o combustione, di materia organica. In tal caso, la forza con cui si forma la materia organica deriverebbe dal sole, mentre la forza con cui si costruiscono i tessuti, [la quale è relativamente piccola] deriverebbe dalla combustione della materia organica così, previamente, formata.

6. Fermentazione. — Le sostanze plastiche, donde sono fabbricati i tessuti vegetali, e che sono formate, nelle foglie, dalla luce solare, sono di due specie, — amiloidi [destrina, zuccaro, amido, cellulosa] e albuminoidi, ossia protoplasma. Ora, gli amiloidi sono relativamente stabili, e non si decompongono spontaneamente; gli albuminoidi, invece, non solo si decompongono spontaneamente, ma traggono gli amiloidi, con cui si trovano associati, ad una concomitante decomposizione; non solo si trasformano, essi medesimi, ma propagando le proprie condizioni, suscitano

[1] *American Journal of Science.* — Novembre 1872. Gli esperimenti del Dott. Draper sono inconcludenti, perchè sono fatti sopra pianticelle appena uscite dal terreno [*seedlings*], le quali crescono, indipendentemente dalla luce solare, finchè non hanno esaurito il loro contingente di alimento organico.

Digitized by Google

una trasformazione negli amiloidi. Gli albuminoidi, nei diversi stadii, e nelle diverse specie di decomposizione, sono chiamati fermenti, e la trasformazione propagata agli amiloidi si chiama fermentazione. Mediante varie specie di fermenti, gli amiloidi sono, in tal modo, abbassati, grado per grado, fino al regno minerale, cioè ridotti a CO_2 e H_2O. La tavola unita mostra i varii stadii della discesa dell'amido, e i fermenti mediante i quali sono effettuati.

1. Amido.	
2. Destrina.	Diastasi
3. Zuccaro.	
4. Alcool e CO_2	Lievito di birra.
5. Acido acetico.	Madre dell'aceto.
6. CO_2 e H_2O	Muffa.

Con mezzi opportuni, si può fermare il processo di discesa sopra ognuno di questi piani. Molti sono, pur troppo, quelli che lo fermano sul quarto. L'industriale ed il chimico possono determinare la trasformazione discendente, attraverso tutti i piani; il chimico è riuscito, recentemente, a risalire fino al n. 4; la pianta poi ascende e discende la scala a piacimento [evitando, tuttavia, il quarto e il quinto piano], e talora passa, di un salto, dal piano inferiore al superiore.

Ora, si vede dalla tavola che un particolare fermento corrisponde a ciascuna delle trasformazioni discendenti. La diastasi determina la trasformazione dell'amido in destrina ed in zuccaro — saccarificazione: il lievito di birra quella dello zuccaro in alcool — fermentazione: la madre dell'aceto trasforma l'alcool in acido acetico — acetificazione: e una muffa particolare l'acido acetico in CO_2 e H_2O. Ma, ben più mirabile e significante è il fatto che una particolare forma di vita è associata con ciascuno

Digitized by Google

di questi fermenti, tranne la diastasi, e quindi con ciascuna di queste trasformazioni discendenti, tranne la trasformazione dell'amido in zuccaro, o saccarificazione. Colla fermentazione alcoolica è associata la pianta del lievito di birra; coll'acetificazione, la pianta dell'aceto, e colla decomposizione dell'aceto una sorta di muffa. Noi prenderemo quella che è meglio conosciuta, cioè la pianta del lievito di birra [saccharomyces], e considereremo la sua relazione colla fermentazione alcoolica.

Tutti sanno che, durante la fermentazione alcoolica, cresce e si moltiplica una pianta speciale monocellulare. La fermentazione non ha mai luogo, senza la presenza di questa pianta; e questa pianta non cresce mai, senza produrre una fermentazione, la rapidità della quale è in esatta proporzione colla rapidità dello sviluppo di essa. Ora, ch' io sappia, non fu mai nettamente mostrato il fatto che la decomposizione dello zuccaro, in alcool ed acido carbonico, fornisce la forza, mediante la quale la pianta cresce e si moltiplica. Se si osservano, al microscopio, le cellule della pianta del lievito di birra, mentre si vanno sviluppando, si vede che, solamente in contatto della superficie di esse, si formano le bolle d'acido carbonico; e, per conseguenza, ivi soltanto, ha luogo, probabilmente, la decomposizione dello zuccaro. La pianta del lievito di birra, non solo assimila materia, ma forza eziandio. Essa decompone lo zuccaro, per assimilare la forza chimica lasciata in libertà.

Abbiamo detto che la trasformazione dell'amido in zuccaro, determinato dalla diastasi, [saccarificazione], è la sola che non è collegata colla comparsa di una sorta di vita. Ora, a proposito di ciò, è un fatto ben significante che la

Digitized by Google

trasformazione stessa è anche la sola che non è, propriamente, discendente, o, almeno, che non implica una decomposizione.

Ora, passiamo, dai fenomeni della vita vegetale, a quelli della vita animale.

7. SVILUPPO DELL'UOVO, DURANTE L'INCUBAZIONE. — Lo sviluppo dell'uovo, durante l'incubazione, è affatto analogo alla germinazione del seme. L'uovo consiste di materie albuminose e grasse, le quali stanno in esso rinchiuse, in tal modo che, mentre l'ossigeno atmosferico vi penetra, le sostanze nutrienti ne vengono eliminate. Durante l'incubazione, l'uovo si trasforma in embrione, e passa dallo stato di materia appena organizzata a quello di materia organizzata nel più alto grado, dall'infima condizione alla più elevata. — Si compie lavoro: vi dev'essere spesa di forza; e noi abbiamo veduto che la forza vitale deriva sempre da una decomposizione. Ma, poichè le materie da decomporre non sono prese dal di fuori, l'uovo deve consumar sè medesimo; il fatto che, durante l'incubazione, l'uovo assorbisce ossigeno, esala CO_2, e probabilmente H_2O, e perde di peso, prova che ciò accade realmente. Come nel caso del seme, una parte della materia racchiusa nell'uovo si consuma, allo scopo di creare la forza necessaria per organizzare il resto. Una certa quantità di materia cade dal piano n. 4 al n. 2, e genera la forza necessaria per eseguire un lavoro di organizzazione, sul piano n. 4. La quantità prodotta di CO_2 e H_2O, e quindi la perdita di peso, misura la quantità del lavoro plastico eseguito.

8. SVILUPPO DELLA CRISALIDE NEL BOZZOLO. — È un fatto notissimo che molti insetti escono dall'uovo, non già col loro aspetto definitivo, ma con una forma di verme, nella qual

Digitized by Google

condizione ricevono il nome di larva. Da questa passano ad una seconda condizione affatto passiva, nella quale sono ricoperti di una specie di bozzolo — è dessa quasi una seconda condizione di uovo, detta di crisalide. Da questo stato escono, finalmente, a quello d'insetto perfetto. Le farfalle offrono il più famigliare, come anche il migliore, esempio di queste trasformazioni. La larva, ossia il bruco, mangia con enorme voracità, e cresce assai rapidamente. Quando il suo sviluppo è completo, essa si ricopre di un bozzolo, dove rimane assolutamente passiva, e quasi immobile, per parecchi giorni, ed anche per varie settimane. Durante questa sospensione delle funzioni animali, si vanno compiendo, tuttavia, nell'interno del bozzolo, i più importanti cangiamenti. Si formano le ali e le gambe: i muscoli si riuniscono in fasci, per movere queste appendici: il sistema nervoso si sviluppa maggiormente: gli organi boccali e il tubo digerente si modificano assai e raggiungono una più perfetta organizzazione: gli occhi semplici si cangiano in occhi composti. Ora, tutto ciò richiede spesa di forza, e, per conseguenza, decomposizione di materia; ma, la crisalide non prende alcun cibo: deve quindi consumare la sua propria sostanza, e perdere di peso. Ciò accade infatti; e, in molti casi, il peso della farfalla non raggiunge nemmeno un decimo di quello del bruco. Una forza è immagazzinata nella materia organica, al solo scopo di essere poi consumata, per eseguire il lavoro plastico.

9. Animali perfetti. — Donde traggono gli animali la loro forza vitale? — Rispondo: dalla decomposizione dei loro alimenti e del loro tessuto.

Le piante, come abbiamo veduto, traggono la loro forza vitale dalla decomposizione di alimenti minerali. Ora, i

Digitized by Google

composti chimici di cui le piante si nutriscono sono molto stabili, e, per decomporli, si richiede un particolare e complesso meccanismo, atto a raccogliere e ad utilizzare la luce solare. Queste condizioni mancano agli animali. Essi, quindi, non possono nutrirsi di composti chimici minerali; devono prendere un alimento organico, che facilmente cada in decomposizione; devono, insomma, prendere il cibo dal regno vegetale.

Gli animali si distinguono dai vegetali, per un incessante deperimento dei loro diversi tessuti — proporzionale all'attività della vita. Questo incessante deperimento richiede un' incessante riparazione, epperò il corpo degli animali fu paragonato ad un edifizio, sulle diverse parti del quale agiscono due forze contrarie, l' una intenta a demolire, e l' altra a riparare i guasti, più rapidamente che può. Un simile deperimento continuo non fu mai constatato nei vegetali; quindi, se vi è, dev' essere, in confronto, ben piccola cosa. È vero che una certa quantità di protoplasma vien presa dalle parti più vecchie dei vegetali, e che queste parti poi muojono; ma tal protoplasma non si vede scomporsi, ed anzi è riutilizzato nella fabbricazione dei tessuti. Così, gli animali presentano due specie d' interna attività: una distruzione del tessuto e una costruzione del medesimo; mentre le piante non ne presentano che una specie, al meno principale: la costruzione del tessuto. Gli animali si alimentano, per procurarsi forza, per riparare i guasti e, finchè non sono perfetti, per crescere. Le piante, eccetto che nel periodo riproduttivo, si alimentano quasi solamente per crescere: — nè mai raggiungono un definitivo sviluppo.

Ora, i cibi degli animali sono di due specie: amiloidi ed

Digitized by Google

albuminoidi. I carnivori si pascono soltanto di albuminoidi, mentre gli erbivori prendono alimenti d'entrambe le specie. Tutto questo cibo deriva dal regno vegetale, — direttamente, nel caso degli erbivori, — indirettamente, in quello dei carnivori. Gli animali non possono fabbricare materia organica. Ora, i tessuti degli animali sono, interamente, di sostanze albuminoidi. Segue da ciò che quella parte di cibo, che s'impiega nella restaurazione dei tessuti, dev'essere albuminoide. Per conseguenza, il cibo amiloide, [e molto dell'albuminoide, come vedremo, parlando dei carnivori], dev'essere interamente adoperato per produrre la forza. Nel modo stesso che il legno e il carbone, abbruciati nella macchina a vapore, trasformano l'energia chimica in energia meccanica: la quantità di cibo, che rimane dopo quella che s'impiega nelle riparazioni, viene abbruciata, per produrre attività animale. Constatiamo più accuratamente l'origine della forza animale, giovandoci di esempi.

10. Carnivori. — Il cibo dei carnivori è interamente albuminoide. Sembra che gli antichi fisiologi avessero idee come le seguenti, intorno all'uso di questo cibo: Le sostanze albuminoidi sono estremamente instabili: si possono dire sostanze sollevate in alto, con grande stento, superando le forze chimiche, e delicatamente equilibrate sulla punta di un pinacolo, dove rimangono per breve tempo, in equilibrio instabile, per poi precipitare di bel nuovo nel regno minerale. I tessuti animali, poichè fatti di sostanze albuminoidi, hanno corta vita; le diverse parti vanno continuamente morendo e decomponendosi; la legge della morte richiede quella della riproduzione; la decomposizione rende necessaria la restaurazione, e, per conseguenza, l'alimento, mediante il quale compire la restau-

Digitized by Google

razione medesima. Ma, la forza che opera la restaurazione, pei fisiologi antichi, era ingenita, innata: e tale è ancora, per molti fisiologi odierni. Invece, io sostengo, nella memoria citata, che la decomposizione dei tessuti, non solo crea la necessità della restaurazione, ma ben anche la forza che l'eseguisce.

Supponiamo, in primo luogo, che un animale carnivoro prenda una quantità di cibo, appena bastevole per riparare i tessuti, e nulla più — per esempio, un' oncia. Ebbene: io dico che l'oncia di tessuto deperito, non solo rende necessaria un' oncia di cibo albuminoso, per riparare il guasto, ma che, in seguito alla sua decomposizione, lascia in libertà la forza, mediante la quale eseguire la riparazione. Mi si potrà, forse, obbiettare che la forza si consumerebbe tutta nella riparazione, e non ne avanzerebbe per le varie sorta di attività animale. Rispondo che ciò non dovrebbe accadere: poichè, probabilmente, il cibo, essendo già albuminoide, non deve richiedere che una piccola spesa di forza, per passare allo stato di tessuto: mentre, d'altra parte, una ragguardevolissima quantità di forza genera la decomposizione del tessuto in CO_2, H_2O ed urea; — la trasformazione ascendente è piccola, la discendente è assai grande. Così, la decomposizione di un' oncia di tessuto albuminoide in CO_2, H_2O ed urea, non soltanto creerebbe una forza bastevole per trasformare in tessuto un' oncia di materia albuminoide, ma ne lascerebbe una ragguardevole quantità per le diverse attività animali. Una certa quantità di materia, cadendo dal piano n. 4 al n. 2, crea una forza bastevole, non solo a movere la stessa quantità sul piano n. 4, ma a compiere, di più, molto altro lavoro. Tuttavia il bisogno d'at-

Digitized by Google

tività animale, è, probabilmente, così immediato ed urgente, che, nelle condizioni considerate, la maggior parte del cibo abbrucerebbe, per sopperirvi, trascurando i tessuti, che sarebbero imperfettamente ristaurati, e, per conseguenza subirebbero guasti.

Ora, prendiamo un carnivoro ben pasciuto. In questo caso non vi è dubbio che, mentre una porzione del cibo va a riparare i tessuti, l'altra, assai maggiore, si consuma, nel sangue, ed esce, in parte allo stato di CO_2, H_2O, attraverso i polmoni, in parte allo stato di urea, attraverso i reni. Questa porzione s' adopera a crear forza, nè può essere altrimenti adoperata. Quindi, il cibo dei carnivori s'adopera in parte a fabbricare tessuto, in parte a creare calore e forza; la forza loro deriva, in parte, dalla decomposizione dei tessuti, in parte dalla consumazione di un eccesso di cibo, passato allo stato di sangue.

11. Erbivori. — Il cibo degli erbivori e dell'uomo è misto: — si compone di albuminoidi e di amiloidi. Senza dubbio, nell'uomo, gli albuminoidi sono ordinariamente in quantità maggiore di quella che richiede la costruzione dei tessuti: negli erbivori, invece, essi non superano, probabilmente, la quantità resa necessaria dalla decomposizione. Però, in questo caso, gli albuminoidi s' impiegano totalmente per fabbricare i tessuti, mentre gli amiloidi s' impiegano totalmente per produrre la forza. Per riguardo, quindi, a questa classe di animali, le due categorie di cibi si possono chiamare, l'una cibo da tessuto, e l'altra cibo da forza. E la forza degli animali stessi deriva, in parte, dalla decomposizione dei tessuti, ma principalmente dalla decomposizione e combustione degli amiloidi e delle sostanze grasse.

Digitized by Google

Alcuni fisiologi dicono che gli alimenti amiloidi e grassi sono abbruciati, per mantenere il calore animale; ma, è chiaro che il principale oggetto del corpo, come quello della macchina a vapore, non è il calore, ma la forza. Il calore è una semplice condizione, e fors'anche una circostanza necessariamente concomitante, della trasformazione: non già, evidentemente, l'oggetto precipuo. Nelle regioni tropicali, ad esempio, il calore non manca. — Nella macchina a vapore, l'energia chimica si trasforma da prima in calore, e questo si trasforma poi in energia meccanica; nel corpo invece, è probabile che la trasformazione si faccia, per molta parte, direttamente, senza passare pel calore.

12. Si rileva, a prima vista, da ciò che precede, perchè le piante non possono nutrirsi di elementi: egli è perchè i loro alimenti devono decomporsi, per creare la materia organica, donde tutti gli organismi sono costrutti. Questa elevazione di materia, che ha luogo nelle foglie verdi delle piante, è il punto di partenza della vita; su di essa, unicamente, si fonda la possibilità dell'esistenza del regno organico. La caduta della materia, così elevata, determina i fenomeni vitali della germinazione, delle piante incolore, alcuni di quelli delle piante verdi, tutti quelli del regno animale. I composti chimici, che servono d'alimento alle piante, sono così stabili che un particolare meccanismo, e speciali condizioni, quali non si trovano che nelle foglie verdi, sono necessarii per decomporli. Vediamo da ciò perchè gli animali, come pure le piante incolore, non si possono nutrire di sostanze minerali.

Si vede anche, facilmente, perchè l'attività animale dei carnivori è maggiore di quella degli erbivori; è maggiore

Digitized by Google

nei primi, perchè la quantità di forza necessaria alla assimilazione dei loro alimenti albuminoidi è piccola, così che ne avanza una maggior quantità, per produrre attività animale. Il loro cibo è già sul piano n. 4; però l'assimilazione rappresenta poco più di un passaggio sul piano n. 4, dallo stato liquido allo stato solido: — un liquido albuminoide, il sangue, passando allo stato di solido albuminoide, il tessuto.

E si vede ancora perchè si può immaginare che l'interna attività delle piante sia di una sola specie; infatti, poichè le piante traggono la loro forza dal sole, non è necessario che la costruzione dei tessuti sia sussidiata da un deperimento dei medesimi. L'attività interna degli animali dev'essere, in vece, di due specie: deperimento e restaurazione; poichè gli animali dal deperimento dei tessuti traggono sempre parte della loro forza, e tutta la traggono, quando siano scarsamente nutriti.

13. Il nostro argomento suggerisce alcune considerazioni generali, che io presenterò come conclusione.

a. Abbiamo detto che vi sono quattro piani di materia, disposti l'uno sull'altro: 1. Gli elementi. 2. I composti chimici. 3. I vegetali. 4 Gli animali. La loro posizione relativa è completamente rappresentata così:

4. *Animali.*
3. *Vegetali.*
2. *Composti chimici.*
1. *Elementi.*

Ora, vi sono quattro piani di forza, che hanno, l'uno coll'altro, analoghe relazioni: sono, la forza fisica, la forza chimica, la vitalità, e la volontà. Sul primo piano di ma-

Digitized by Google

teria agisce soltanto la forza fisica; poichè la forza chimica innalza, immediatamente, la materia al secondo piano. Sul secondo piano agisce, oltre la forza fisica, la chimica. Sul terzo agisce, oltre la forza fisica e la chimica, la forza vitale. Finalmente, sul quarto, oltre le precedenti, agisce la forza, che caratterizza gli animali, cioè a dire la volontà [1]. In corrispondenza a ciascuna elevazione, una forza particolare si aggiunge alle preesistenti, e, per conseguenza, si manifesta un gruppo speciale di fenomeni. Siccome la materia non si eleva che grado per grado, non facendone mai due in una volta, così la forza, nell'acquistare forme più elevate, non sale che grado per grado. La forza fisica non diventa vitale che passando per la forza chimica, e quest'ultima non diventa volontà che passando per la forza vitale.

Di più, lungi dall'immaginare che i diversi gradi di materia, a poco a poco elevandosi, costituiscano un piano inclinato, gli abbiamo paragonati a successivi piani, innalzati, l'uno sull'altro. Vi sono, senza dubbio, certe condizioni intermedie; ma, come fatto comune, generale, i passaggi da piano a piano sono bruschi. Lo stesso si deve dire, per quanto alle forze, che operano sui piani medesimi, dei diversi gradi di forza, e dei gruppi di fenomeni, che vi corrispondono. Il passaggio da un grado all'altro, come dal fisico al chimico, e dal chimico al vitale, — per quanto pare, — non si fa mediante una scala, che dolcemente s'innalza, ma bruscamente. I gruppi di fenomeni,

[1] Potrei aggiungere un altro piano e un'altra forza, cioè, il piano umano, sul quale, operano, oltre tutte le forze inferiori, il libero arbitrio e la ragione. Io non parlo di essi, soltanto perchè stanno oltre la portata di questo sguardo di scienza induttiva.

Digitized by Google

che noi chiamiamo fisici, chimici, vitali, volitivi, razionali e morali, non sfumano, l'uno nell'altro, per insensibili gradazioni. La scala ascendente delle forze, l'evoluzione delle forze superiori dalle inferiori, presentano rapidi e saltuarii passaggi.

b. La forza vitale si trasforma in fisica ed in chimica; ma non, per questo, è identica all'una, o all'altra, di esse; epperò noi non dobbiamo scartare il vocabolo di forza vitale, come vorrebbe fare taluno. In questo argomento vi sono due opposti errori: l'uno è il vecchio errore di risguardare la forza vitale come un non so che di innato, che non trae origine da nulla, e non ha nessuna relazione colle altre forze della Natura: l'altro errore, comune agli innovatori, è quello di considerare le forze, che operano in un corpo vivente, come nulla più che ordinarie forze fisico-chimiche, e di sostenere, per ciò, che l'uso del vocabolo forza vitale è assurdo e contrario alla scienza. Il vecchio errore continua a prevalere nelle menti popolari, e persiste ancora in quelle di molti fisiologi; il nuovo, rappresenta visibilmente una reazione al primo, ed è, per conseguenza, comune alle menti scientifiche più avanzate. Vi sono molti dei migliori scienziati, che deridono l'uso del vocabolo forza vitale, o vitalità, come un avanzo di superstizione; e sono pure quegli stessi, che adoperano le parole gravità, forza magnetica, fisica, chimica, ecc. La forza vitale non è ingenita: — non è indipendente dalle altre forze: — è realmente collegata con esse; ma, ciò nondimeno, essa è una forma distinta di forza, molto più distinta d'ogni altra, che non appartenga a quelle ancor più elevate, epperò ha diritto ad un nome particolare, più d'ogni altra forma inferiore. Ciascuna forma di forza dà origine

Digitized by Google

ad un gruppo speciale di fenomeni, e lo studio di essi ad un ramo speciale di scienza. Ora, il gruppo dei fenomeni chiamati vitali è più separato, e più differente dagli altri gruppi che non questi, l'uno dall'altro; la fisiologia è un ramo di scienza più distinto della fisica e della chimica; per conseguenza la forza, che determina tali fenomeni, è più distinta delle forze fisica e chimica, ed ha più diritto di esse ad un nome particolare. De Candolle, in una recente memoria [1], propone di sostituire al nome di forza vitale quello di movimento vitale; ma possiamo noi concepire movimento, senza forza? — E, se il movimento è speciale, tale dev'essere anche la forma di forza, che lo produce.

c. La forza vitale si trasforma nelle forze fisica e chimica, ciò è vero, ma condizione necessaria, e veramente singolare, di questa trasformazione è la previa esistenza, e la presenza, di materia vivente. In questa proprietà della forza vitale vi è qualche cosa di così mirabile, che io debbo fermarmi alcun poco sopra di essa.

Gli elementi, posti a contatto, l'un dell'altro, in certe condizioni fisiche, — per esempio, sotto l'azione del calore e della elettricità, — si combinano, e si elevano al secondo piano: quello dei composti chimici. Alcuni, poi, C, O, H, N, ecc., posti a contatto, l'un dell'altro, in certe condizioni fisiche e chimiche, — sotto l'azione della luce, allo stato nascente, ecc., — si combinano, e si elevano al terzo piano; ossia, formano materia organica. In entrambi i casi vi è una combinazione chimica, in certe condizioni fisiche; ma, nel secondo si ha una condizione tutta speciale, ciò è la

[1] *Archives des Sciences* — vol. XIV, pag. 315, Dicembre 1872.

Digitized by Google

preesistenza e la presenza di materia organica, che determina il processo della trasformazione. In una parola, per produrre materia organica, si richiede materia organica; si presenta qui una legge che simile produce simile, e vi è una simiglianza di materia.

Così pure, in determinate condizioni, la forza fisica può prendere diverse forme, e cangiarsi in chimica; in certe condizioni, poi, le forze medesime si cangiano in forza vitale. Ma, aggiungiamo, che in quest'ultimo cangiamento si trova una condizione affatto speciale: cioè la preesistenza, e la presenza, di forza vitale. Qui, pure, simile produce simile; — e vi è una simiglianza di forza.

Questa legge che simile produce simile, — questa simiglianza di materia e di forza — si riscontra in tutti i fenomeni vitali, fino nei più minuti accidenti. Essa è una legge universale della generazione, che stabilisce l'esistenza della specie; essa è la legge secondo la quale si producono la materia organica e la forza organica: e che determina tutte le varietà della prima, che noi chiamiamo tessuti ed organi, tutte le varietà della seconda, che noi chiamiamo funzioni. La stessa sostanza alimentare, dotata dappertutto delle stesse proprietà e degli stessi poteri, trasportata alle diverse parti di un complicato organismo, in conseguenza di questa legge mirabile che simile produce simile, si converte nelle forme più svariate, che presentano i più svariati poteri. Questa legge ha tuttavia, senza dubbio, i suoi limiti e le sue eccezioni; altrimenti non potrebbe aver luogo una distinzione di tessuti, di organi e di funzioni, nello sviluppo embrionale; ma, questi limiti e queste eccezioni sono soggetti essi medesimi ad una legge ancor più mirabile di quella che simile

Digitized by Google

produce simile: — la legge della evoluzione. In tutta la natura organica, — sia nel regno organico, che nell'individuo, che nei tessuti, — domina una legge di variazione, che spiega ne' primi periodi della vita la sua massima efficacia, ed è strettamente circoscritta da un' altra — quella della eredità, che simile produce simile.

d. Abbiamo veduto che ogni sviluppo ha luogo a spese di un deperimento — che l'innalzamento di una cosa ad un certo livello si fa sempre a spese della caduta di qualche altra, ad un altro livello. La forza non può far altro che trasportarsi e mutare di forma. La pianta ricava la propria forza dal sole, e quindi ciò che la pianta guadagna, è perduto dal sole. Gli animali la ricavano dalle piante, e quindi ciò che guadagna il regno animale è perduto dal vegetale. L' uovo, il seme, e la crisalide, poichè passano ad una condizione più elevata, senza prender nulla dal di fuori, devono perder di peso. Qualche parte deve decadere, affinchè il resto si innalzi; e la quantità della evoluzione è misurata dalla perdita di peso. Stante la legge della conservazione della forza, non si può concepire come tutto ciò potrebbe altrimenti accadere. Però, nell'universo, preso come un tutto, l'evoluzione di una parte deve farsi a spese di qualche altra; nè si può concepire, secondo la dottrina della conservazione della forza, l'evoluzione, o lo sviluppo, dell'intero cosmo — dell'intero universo della materia — come un' unità, per azione di forze, che ad esso appartengono. Un' evoluzione siffatta, dello stesso tipo di quelle che si conoscono, se vi fosse, non potrebbe aver luogo che mediante un continuo incremento della somma totale dell'energia, ciò che potrebbe avvenire per un continuo influsso d'energia divina; poichè la stessa

Digitized by Google

quantità di materia, in una condizione più elevata, implica una maggiore quantità d'energia.

e. Finalmente, siccome la materia organica è tanta materia, tolta dal fondo comune della terra e dell'aria, plasmata per breve tempo, e destinata ad essere di nuovo restituita al fondo comune, dalla morte e dalla decomposizione; così sembra che anche le forze organiche dei corpi viventi degli animali e delle piante si possano risguardare come tanta forza, tolta al fondo comune delle forze fisico-chimiche, e destinata ad esservi di nuovo, interamente, riversata, dalla morte e dalla decomposizione. Sì, dalla decomposizione; questo si capisce. Ma, la morte! si può capire come la sola morte possa cangiare alcun che? Di qual natura è la differenza, che passa fra un organismo vivo ed un organismo estinto? Noi non ce ne troviamo alcuna, nè fisica, nè chimica. Le forze fisico-chimiche, prese dal fondo comune della Natura, ed incorporate nell'organismo vivente, sembrano mantenersi tutte incorporate nel morto, fin che non viene, a poco a poco, disfatto, dalla decomposizione. Eppure la differenza è immensa, inconcepibilmente grande. Qual'è la natura di questa differenza, nel linguaggio della scienza materialista? Che cos'è ciò che si è dipartito dall'organismo? e dove è andato? Qui vi è qualche cosa, che la scienza non può ancor penetrare. Ed è appunto questa perdita, che ha luogo colla morte, prima che incominci la decomposizione, ciò che, nel senso più elevato, è forza vitale.

Dagli argomenti fin qui svolti, o da consimili esposti da altri, nessuno cerchi di trarre conclusioni stringenti, che appoggino un materialismo assoluto. La forza e la materia, — lo spirito e la materia, — Dio e la Natura, questi

Digitized by Google

sono i poli della filosofia, del pensiero. Non vi sono idee chiare, senza di essi. Non soltanto la religione e la virtù, ma neppure la scienza e la filosofia, senza di essi, non possono sostenersi. La credenza nello spirito, non meno che la credenza nella materia, ha per fondamento i fenomeni. Il vero dominio della filosofia è di conciliare queste due credenze, l'una coll'altra.

Digitized by Google

Digitized by Google

CORRELAZIONE DELLA FORZA NERVOSA COLLA FORZA MENTALE.

PER ALESSANDRO BAIN

PROFESSORE DI LOGICA E DI FILOSOFIA MENTALE

NELL'UNIVERSITÀ DI ABERDEEN.

Digitized by Google

Digitized by Google

CORRELAZIONE DELLA FORZA NERVOSA COLLA FORZA MENTALE.

La teoria detta della correlazione, persistenza, equivalenza, trasmutabilità, indistruttibilità della forza, o della conservazione dell'energia, abbraccia tanti fatti che nessuna maniera di dire sembra capace di esprimerla completamente; e quali preferiscono definirla in un modo, quali in un altro. Secondo il mio modo di vedere, vi sono in Natura cinque potenze, o forze, precipue: l'una *meccanica*, o *molare*, — la forza viva dei corpi in movimento: le altre *molecolari*, o contenute dalle molecole, che si suppongono pure in movimento: — son queste il calore, la luce, la forza chimica, l'elettricità. A queste potenze, ben distinte e incontestabili, si suole aggiungere la forza vitale, di cui, però, è difficile parlare come di un tutto; ma un elemento delle nostre energie vitali, la forza nervosa, che appartiene ai fenomeni elettrici, si presta perfettamente ad essere aggiunta alle altre forze collegate fra loro.

Prendendo la sola forza meccanica, e le tre molecolari, dette calore, forza chimica, elettricità, fu determinato un certo rapporto di trasformazione, o di scambio, secondo il quale esse si trasmutano l'una nell'altra. L'equivalente

Digitized by Google

meccanico del calore, i 425 chilogrammetri di Joule, esprime il rapporto secondo il quale si trasformano, l'una nell'altro, la forza viva meccanica ed il calore; l'equivalente del calore e della forza chimica è dato, [secondo le ricerche di Andrews e di altri], dalle cifre, che esprimono il calore svolto dalle combinazioni: per esempio, un chilogramma di carbone, abbruciando, svolge una quantità di calore sufficiente ad elevare la temperatura di 7990 chilogrammi d'acqua di 1° C. Paragonando i due equivalenti, troviamo che, consumando una mezza libbra di carbone, si potrebbe innalzare un uomo, di peso medio, alla più alta cima dell' Himalaja.

Punto essenziale della teoria è che la forza non si crea mai assolutamente, nè mai assolutamente si distrugge, ma soltanto cambia la forma sotto cui si presenta.

Applicando la teoria della conservazione ai corpi viventi, si sogliono enunciare le seguenti proposizioni. Nello sviluppo delle piante, le forze, che implicano i raggi solari, — calore e luce, — si spendono nel decomporre, [o disossidare], l'acido carbonico e l'acqua, e nel fabbricare i tessuti viventi, col carbonio e cogli altri elementi, posti in libertà; tutta questa forza viene emessa, quando i tessuti si consumano, — sia come combustibile, nell'ordinaria combustione, sia come cibo, nella combustione animale.

È la combustione animale della sostanza delle piante e degli animali [nutriti di piante], — ossia, la riossidazione del carbonio, dell' idrogeno, ecc. — la causa, che genera ogni manifestazione di potenza, negli animali. Più specialmente, essa mantiene 1.° un certo tepore dell' intera massa, contro l' influenza refrigerante dello spazio, 2.° energia

Digitized by Google

meccanica, come forza muscolare, 3.° forza nervosa, ossia un certo flusso d'elettricità intorno ai nervi, il quale, — oltre che reagisce sulle altre funzioni animali, muscolare, glandolare, ecc., — ha, per suo principale concomitante, la MENTE.

Se, a buon diritto, si può estendere alla mente la correlazione delle forze, ciò deve farsi, per mezzo della forza nervosa, la quale è un membro legittimo del gruppo delle forze collegate fra loro. Ardue difficoltà si oppongono al risultato, non però insuperabili.

La storia delle dottrine sulla relazione della mente col corpo è, nel massimo grado, singolare ed istruttiva, ma, pel fine di questa memoria, non rammenteremo che alcuni stadii principali della questione [1].

La teoria Aristotelica non è la meno importante, e, per certi riguardi, è più profonda di quelle che la seguirono, e che si svolsero da essa. Secondo Aristotile, vi è una specie di gradazione dalla vita delle piante alla forma più elevata dell'umano intelletto. Nello specchietto seguente, si può dire che le linee continue rappresentano la sostanza materiale, mentre le linee punteggiate rappresentano l'immateriale.

A. *Anima delle piante.*

———————— Senza coscienza.

B. *Anima degli animali.*

. . . . . Corpo e mente inseparabili.

C. *Anima umana* — Νοῦς — *Intelletto.*

[1] Questo argomento si trova più ampiamente sviluppato nel Cap. VII dell'opera dello stesso autore « Corpo e Mente » — che fa parte di questa biblioteca.

Digitized by Google

I. Intelletto passivo.

. . . . . Corpo e mente inseparabili.

II. Intelletto attivo — cognizione dei supremi principii.

. . . . . Pura forma: distinta dalla materia: primo movente di tutto: immortale.

Tutte le fasi della vita e della mente sono inseparabilmente connesse col corpo, [inseparabilità, che per Aristotile è la definizione dell'anima], tranne l'ultima, νοῦς o intelletto attivo, la quale è distinta dalla materia corporea, sussistente per sè, essenza della Divinità, e sostanza immortale, benchè l'immortalità non sia personale all'individuo. [L'immaterialità di questo agente supremo non era, tuttavia, quella completa negazione d'ogni attributo materiale, che s'intende, oggidì, colla parola: « immateriale »]. Aristotile si trovava confuso a spiegare come una tale anima puramente spirituale, e sussistente per sè, potesse stare in comunicazione colle altre, legate al corpo; — la difficoltà riapparve dopo di lui, e non fu mai superata. L'esistenza di un agente affatto estraneo, e superiore a tutte le potenze conosciute della materia inerte, non involge nessuna difficoltà; — poichè, qual limite hanno l'esistenze possibili? Il dubbio nasce soltanto, quando questo principio, radicalmente nuovo e superiore, si considera come separato dal principio materiale, e, ad un tempo, congiunto con esso: compiendo alcune funzioni perfettamente isolato, ed altre, d'analoga specie, mediante il sussidio del principio inferiore. Fra la ragione attiva e la ragione passiva di Aristotile non vi è che una semplice differenza di gradazione, mentre gli agenti causali, ch'egli suppone, sono per loro essenza in completo contrasto, — e l'uno al polo opposto dell'altro. Non vi è soluzione di

Digitized by Google

continuità tra i fenomeni, mentre vi è un abisso tra i loro fondamenti rispettivi.

Quindici secoli dopo Aristotile, troviamo, con Tommaso d'Aquino, quella che si può dire la teoria moderna delle relazioni fra la mente ed il corpo. Questo filosofo estende il dominio del principio indipendente immateriale, dalla più elevata anima di Aristotile, alle tre altre, supposte da lui: — lo estende, cioè, all'anima vegetale [senza coscienza], all'animale [con coscienza], e alle due specie d'intelletto. Le due anime inferiori, — la vegetale e l'animale — hanno bisogno della cooperazione del corpo; l'intelletto agisce senza nessun organo corporeo, tranne che fa uso delle percezioni dei sensi.

A. *Anima vegetale o nutritiva.*

. . . . . Contiene una parte immateriale, benchè priva di coscienza.

B. *Anima animale.*

. . . . . Contiene una parte immateriale, con coscienza.

C. *Intelletto.*

. . . . . Puramente immateriale.

L'anima animale, B, implica le sensazioni, gli appetiti, le emozioni, ed è un'entità mista o bilaterale; l'intelletto, invece, è un'entità di natura semplice, immateriale. — Le nostre difficoltà non son tolte; i fenomeni sono ancora genericamente collegati e continui, la sensazione passa all'intelletto, senza soluzione di continuità; ma, per quanto agli agenti, il passaggio da una sostanza, che consiste di una parte immateriale e di una materiale, ad una semplicemente immateriale, è un passaggio ad un mondo diversamente costituito, ad una trascendente sfera d'esistenza.

Digitized by Google

La dottrina dell' Aquinate governò tutte le scuole filosofiche e le credenze religiose, quasi fino agli ultimi tempi: per esempio, ad essa, sostanzialmente, si riduce quella del vescovo Butler. Ma, cedendo alle esigenze della moderna fisiologia, essa ha poi dovuto subire modificazioni. La dipendenza delle operazioni puramente intellettuali, come la memoria, da processi materiali, fu accettata a stento da coloro che stavano per l'esistenza di un principio immateriale: essa è incompatibile coll'isolamento dell'intelletto, sostenuto da Aristotile e da Tommaso d'Aquino. Questa più completa connessione del mentale col fisico ha suggerito ai filosofi una nuova forma di esprimerne la correlazione, forma più vicina alla verità, sebbene, a mio giudizio, non ancora perfetta. Si suol dire, oggidì, che *la mente e il corpo agiscono l'uno sull'altro:* che, nè l'uno nè l'altro, possono, per così dire, proceder da solo: che di continuo s'incontrano, e s'influenzano scambievolmente. Questa dottrina soggiace alle seguenti obbiezioni.

1. In primo luogo, essa presume che noi siamo autorizzati a parlar della mente, astrazione fatta dal corpo, e ad ammettere che possieda i suoi poteri e le sue proprietà, per questa capacità indipendente. Ora, non abbiamo alcuna prova diretta di questa separazione, e non possiamo concepirla in nessun modo. Possiamo dire che il vento agisce sul mare, e che le onde reagiscono sul vento, perchè, in questo caso, gli agenti si conoscono separati, — e, prima che l'urto abbia luogo, si vedono esistere distinti, l'uno dall'altro; ma, nel modo stesso, non possiamo vedere la mente agire distinta dal suo materiale compagno.

2. In secondo luogo, abbiamo tutte le ragioni, per credere che una successione materiale non interrotta proceda

Digitized by Google

lateralmente al nostro processo mentale. Dall'ingresso della sensazione fino alla manifestazione esterna dell'atto, che vi corrisponde, la successione mentale non va mai separata, nemmeno per un istante, da una successione fisica. Una nuova prospettiva che ci si spiega dinanzi, suscita nella mente certe sensazioni, un'emozione, un pensiero, donde la manifestazione esterna della parola e del gesto. Parallela a questa serie di fatti mentali, procede una serie di fatti fisici, — la successiva eccitazione degli organi chiamati occhio, retina, nervo ottico, centri ottici, emisferi cerebrali, nervi che se ne dipartono, muscoli ecc. Un ciclo continuo di effetti fisici si mantiene, mentre noi percorriamo il ciclo mentale della sensazione, dell'emozione, e del pensiero. Sarebbe incompatibile con tutto ciò che sappiamo, intorno all'azion cerebrale, il supporre che la catena fisica terminasse bruscamente in un vuoto fisico, occupato da una sostanza immateriale: la quale, dopo d'aver agito da sè, comunicasse i proprii risultati all'altro limite dell'interruzione fisica, determinando l'azione di risposta: — vi sarebbero due sponde di materiale, con un oceano d'immateriale, frammezzo. Nel fatto, non vi è nessuna soluzione della continuità nervosa. La sola supposizione legittima è che il mentale ed il fisico procedano insieme, come gemelli. Però, quando parliamo di una causa mentale, di un agente mentale, abbiamo sempre una causa bilaterale; l'effetto non è prodotto, soltanto, dalla mente, ma dalla mente e dal corpo, insieme. Dire che la mente ha operato sul corpo, val quanto dire che un fenomeno bilaterale, con un lato corporeo, ha operato sul corpo, — o, finalmente, che il corpo ha operato sopra sè stesso. Quando uno spavento paralizza la

Digitized by Google

digestione, non è l'emozione di spavento, in astratto, come esistenza puramente intellettuale, che produce il danno; ma, è l'emozione, in unione con uno stato particolare d'eccitamento, che s'ingenera nel cervello e nel sistema nervoso; e questo stato del cervello disturba lo stomaco. Quando un nutrimento, ossia uno stimolante fisico, agendo per mezzo del sangue, calma l'irritazione mentale, e suscita uno stato di allegria, non è che un fatto corporeo ne produca uno mentale, secondo una linea diretta di causalità; il nutrimento e lo stimolo determinano la circolazione del sangue al cervello, danno una nuova direzione alle correnti nervose, epperò si manifesta la condizione mentale corrispondente a questo speciale modo d'azion cerebrale. Così, la serie dei fatti mentali non implica che la mente ingeneri un certo stato del corpo, nè che il corpo ingeneri un certo stato della mente, ma che mente e corpo congiunti diano origine ad un certo stato di mente e corpo congiunti: proposizione molto più intelligibile. Noi possiamo dare una prova di questa doppia, o congiunta, causalità, mentre non possiamo darne alcuna di una causalità di natura semplice.

Se non fosse specialmente mio cómpito il provarmi a schiarire le difficoltà, particolarmente metafisiche, implicate dalla correlazione della mente col corpo, io tralascerei di considerare il punto, che mi pare più difficile a risolvere, e che, nel fatto, è la sola difficoltà reale, che la questione presenta.

Dico difficoltà reale, perchè molte difficoltà immaginarie si vollero vedere nel nostro argomento. Si fa un mistero del modo in cui le funzioni mentali possono essere completamente legate alle funzioni corporee. Ma, questo non

Digitized by Google

è affar nostro; accettiamo questo legame, come tanti altri, — come quello della gravità colla materia inerte, e della luce col calore. Presa come un fatto dell'universo, l'unione, per vero dire, è tanto accettabile e intelligibile, quanto lo sarebbe la separazione, nel caso che vi fosse. La difficoltà reale è un'altra, di natura affatto diversa.

La questione, che mi si presenta, è la seguente. — Quando io dico che la mente è legata al corpo, — vale a dire, al cervello e alle sue correnti nervose, — a stento posso evitare di *localizzare* la mente, dandole una limitata dimora. Però, sono tenuto a spiegare ciò che ha sempre imbarazzato gli scolastici, e ciò è, se la mente vi è tutta in ogni singola parte del meccanismo, o, soltanto, nella sua totalità: se, toccando ogni punto posso ottener la coscienza, o se si richiede il concorso dell'intero meccanismo, per avere la più piccola porzione di coscienza. Taluno potrebbe forse girar la questione, invocando l'analogia del filo telegrafico e del circuito elettrico, e dire che un completo ciclo d'azioni è necessario ad ogni manifestazione mentale; ciò che è, probabilmente vero. Ma tutto ciò non corrisponde al nostro caso. Il fatto si è che, fin che stiamo parlando di nervi e di fili, non parliamo punto di ciò che si deve chiamare, con precisione, la mente; noi invochiamo fatti fisici, che procedono di concerto con essa, ma questi fatti fisici non sono, essi stessi, il fatto mentale, ed anzi, essi c'impediscono di attuarlo. Noi siamo fissi in questa opinione: che gli stati mentali e gli stati corporei sono completamente a contrasto fra loro; essi non possono paragonarsi gli uni cogli altri, e non hanno in comune che gli attributi più generali, — il grado, e l'ordine in cui si succedono; quando noi siamo intenti ad uno dei primi, dobbiamo essere affatto

Digitized by Google

dimentichi di tutto ciò che caratterizza i secondi, e reciprocamente. Quando sto considerando un cervello, comunicante con un nervo, io mi trovo occupato da proprietà, che appartengono esclusivamente all'oggetto, ossia al mondo materiale: in questo momento, io sono incapace, [tranne per passaggi, od alternazioni, di estrema rapidità], di concepire un fatto veramente mentale, il mio vero sentimento interiore. Le nostre operazioni mentali, i nostri sentimenti, i pensieri, non hanno estensione, non luogo, non forma o contorno, non meccanica divisione di parti; e noi non possiamo attendere ad un qualunque fatto mentale, finchè non abbiamo rimosso la vista di tutto ciò. Un giorno di primavera, noi passeggiamo in campagna, e ci occupiamo delle foglie, dei fiori, dei prati ricoperti d'erba, tutte cose puramente oggettive; ad un tratto siamo fortemente colpiti dall'olezzo del biancospino e diamo retta, per un momento, ad una sensazione di dolcezza; ora, per questo momento, noi cessiamo dal contemplare gli oggetti; pensiamo una cosa, che non ha estensione; siamo in uno stato in cui l'estensione non ha più a che fare; e, per noi, non vi è più spazio determinato. Tali stati durano per breve tempo, sono semplici trasporti, lampi; essi, continuamente, si trasmutano e si alternano con stati obbiettivi, ma finchè durano ed hanno il loro pieno potere, noi ci troviamo in un altro mondo; per quell'impercettibile istante, il mondo materiale ci scompare eclissato. Questi momenti soggettivi si osservano negli scoppi di gran gioja e di gran dolore, negli istanti in cui si è assorbiti da una riflessione assai tesa, specialmente, sopra fatti intellettuali; essi, però, si mantengono raramente, nella loro purezza, oltre un intervallo brevissimo; poichè noi torniamo continuamente a

Digitized by Google

considerare il lato obbiettivo delle cose, — il mondo, dove esistono l'estensione ed il luogo.

Questa, a mio giudizio, è la sola difficoltà reale, che presenti la correlazione dei fatti mentali coi fisici. Vi è un legame colla materia, coll'oggetto, col mondo esteso; ma, la cosa legata ad essi, ciò che si deve dire la mente, non ha nessuna estensione, e non può essere loro congiunta per unione locale. Ora, non vi è nessuna espressione, nessun analogia famigliare, atta a spiegare questa unica congiunzione; a fronte delle unioni ordinarie, essa ci sembra un paradosso, una contraddizione. Noi concepiamo l'unione come una connessione locale; qui vi è un'unione colla quale la connessione locale non ha rapporto, essendo incompatibile, contradittoria, poichè noi non possiamo pensare alla mente, senza separarci da tutto ciò che è luogo determinato. Quando, come accade nei semplici sentimenti, — piacere o dolore — noi passiamo, dall'attitudine oggettiva, alla soggettiva, subiamo una trasposizione che non rappresenta un cangiamento di luogo; il fatto non è bene espresso col dire che vi è un passaggio dall'*esterno* all'*interno*, poichè il cangiamento avviene sempre nella region dell'esteso. La sola espressione conveniente è un *cangiamento di stato:* un passaggio da uno stato di cognizione estesa ad uno di cognizione inestesa. Varii teologi hanno parlato del cielo, non già come di un luogo, ma come di uno *stato;* e questo è la sola frase, che io trovo idonea ad esprimere il grande, sebben facile e famigliare, passaggio, dal lato materiale ed esteso, al lato immateriale ed inesteso dell'universo degli enti.

Però, quando noi vogliamo incorporare la mente nel cervello, si deve intendere che parliamo ponendo una re-

Digitized by Google

strizione, o condizione, di grande importanza. Asserendo l'unione nella più completa maniera, le neghiamo l'elemento della coincidenza locale, che, quasi invincibilmente, siamo tratti ad introdurvi. Un esteso organismo è condizione perchè noi passiamo in uno stato dove non vi è più estensione. L'uomo è un ente esteso e materiale, suscettibile di elevarsi al sentimento e al pensiero, — estremo separato da tutto ciò che è materiale: — condizione di *estasi*, durante la quale, tutto ciò che è materiale dilegua; e per tal modo, noi non possiamo immaginare i due estremi l'uno lateralmente all'altro, o l'uno contenuto nell'altro, o, in qualunque altro modo, congiunti, con una connessione locale. Condizione perchè noi siamo concentrati completamente nell'uno, è la momentanea eclissi, od estinzione, dell'altro.

Il solo modo di unione, che non è contradittorio, è l'unione nella strettissima successione nel *tempo*, o nella posizione relativa ad una serie continua di atti, corrispondenti ad una vita consciente. Abbiamo diritto di dire che lo stesso essere, mediante alternativi trasporti, è oggetto e soggetto, con estesa ed inestesa coscienza; senza la prima delle quali non sorgerebbe la seconda. Senza certe particolari modalità dell'esteso, — ciò che noi chiamiamo un'organizzazione cerebrale, e così via, — non potremmo avere quei momenti di estasi, — i piaceri, i dolori, le idee, — che abbiamo attualmente, per subiti trasporti, e alternatamente con estese sensazioni.

— Ora, poichè ho fatto osservare questa difficoltà metafisica dell'assegnare la posizione relativa della mente e della materia, mostrerò, brevemente, come, a mio giudizio, si possa trattare la mente in correlazione colle altre

Digitized by Google

forze. Io credo conforme a tutti i fatti, che vi sia una definita equivalenza tra le manifestazioni mentali e le forze fisiche, nel modo stesso che vi è tra le forze fisiche medesime, — sebbene s'incontrino alcune difficoltà, quando si vuol darne una prova definitiva.

I. Le manifestazioni mentali sono, esattamente, in ragione dei loro fisici sussidii.

Se la teoria della completa connessione della mente col corpo è assolutamente esatta, essa deve verificarsi fino in questa deduzione. La mente e il corpo devono, ad un tempo, elevarsi e decadere, secondo una proporzione numerica. Io credo che tutti i fatti, i quali ammettono un'interpretazione sicura, dimostrano questa proporzionalità.

Prendiamo in primo luogo, gli esempi più ovvii. Quando s'impiega un agente esterno, quali sono il calore ed il cibo, mi concederanno tutti che l'intensità della sensazione prodotta cresce esattamente con quella dello stimolante, finchè si arriva ad un certo punto, raggiunto il quale, l'azione muta carattere: il troppo calore distruggendo i tessuti, e il troppo cibo impedendo la digestione. Ora, vi è certamente, sebbene noi non possiamo riuscire a determinarlo, un *equivalente sensazionale* del calore, del cibo, dell'esercizio, del suono, della luce; si produce una definita modificazione di sentimento, si suscita un certo senso di piacere o di dolore, in corrispondenza ad una elevazione della temperatura atmosferica, eguale a 10°, 20°, o 30°. E così, per riguardo a qualunque altro agente, che operi sulla umana sensibilità: vi è, nei singoli ordini di fatti, un equivalente sensazionale dell'alcool, degli odori, della musica, degli spettacoli.

È questa definita relazione fra gli agenti esterni e i sen-

Digitized by Google

timenti umani, che rende possibile il discutere sugli interessi degli uomini, considerandoli dal lato oggettivo, il solo che ci sia accessibile. Noi non possiamo leggere i sentimenti dei nostri simili; e soltanto presumiamo che agenti eguali produrranno su tutti, press'a poco, la stessa impressione. È così che noi misuriamo la fortuna e la felicità degli uomini, mediante l'abbondanza numerica di certi agenti, come il denaro, e la mancanza o la scarsità di certi altri, come le cagioni di dolore, e le condizioni che deprimono la vitalità. Se la stima riesce alquanto grossolana, ciò non dipende da una indeterminazione dell'equivalente sensazionale, ma dalla complicazione dell'umano sistema, e, specialmente, dalla sottigliezza della linea, che divide i gradi salubri degli stimolanti, qualunque siano, dai loro gradi dannosi.

Ora, presentiamo l'equivalenza coll'azione fisiologica o vitale. L'organo particolarmente interessato è il cervello, che sappiamo essere un sistema di miriadi di fili, collegati tra loro, che si ramificano, si uniscono, e s'incrociano in un numero incalcolabile di punti; sappiamo, di più, che questi fili sono sollecitati, o vivificati, da una corrente elettrica, chiamata forza nervosa; che questa forza nervosa è un membro del gruppo delle forze collegate, la quale immediatamente deriva da modificazioni del sangue, e, in ultima analisi, dall'ossidazione, o combustione, delle sostanze inghiottite, essendo il determinato equivalente della combustione medesima. Sappiamo, inoltre, che non vi può essere sentimento, non volizione, non pensiero, senza la comunicazione di una certa quantità di sangue, il quale contiene, ad un tempo, ossigeno e sostanze suscettibili d'ossidazione; e che i processi mentali sono tanto

Digitized by Google

più intensi, e tanto più vividi, quanto più il sangue è ricco in qualità, per rispetto a questi suoi elementi, ed in quantità abbondante. Così pure, sappiamo che vi sono mezzi, per accrescere l'intensità della circolazione in un organo, diminuendola in un altro, specialmente, col mettere l'organo in maggiore esercizio, come si fa, quando si eseguiscono sforzi coi muscoli, e quando s'introduce alimento nello stomaco; così, quando i processi mentali si rendono più intensi che all'ordinario, il sangue accorre in maggior copia al cervello; ivi l'ossidazione procede con vivacità eccessiva, a danno degli altri organi, dove si fa deficiente. Nei forti eccitamenti mentali, la digestione si sospende: il vigore dei muscoli si manifesta abbattuto, eccetto nel suscitare i sentimenti, i pensieri, i propositi; la nutrizione generale languisce; e se tale stato si prolungasse di molto, o troppo sovente si ripetesse, le facoltà fisiche, propriamente dette, deperirebbero ben tosto. Sappiamo, per l'opposto, che il sonno va accompagnato da una diminuzione nella intensità della circolazione al cervello; nel fatto l'intensità della circolazione diminuisce, generalmente; ma, così ridotta, più che alle funzioni cerebrali, essa attende a quelle che risguardano la nutrizione.

Nell'ascoltare la memoria sulla « Forza muscolare, » letta all'Istituto Reale di Londra, dal dottor Frankland, notai che questo scienziato, quando annovera le diverse operazioni su cui si distribuisce la spesa di cibo, nomina tra le principali « il lavoro mentale, » ma schiva di entrare nei dettagli. Io mi spiego questa riserva con due ragioni, e l'esporle gioverà a schiarire la proposizione generale.

In primo luogo, si può supporre che la mente sia un fenomeno troppo anomalo, incerto, e separato dalla catena

Digitized by Google

delle cause e degli effetti materiali, perchè si possa nominarla fra gli elementi della catena medesima. A ciò io rispondo che la mente, considerata come un fenomeno, è senza dubbio affatto differente dalle forze fisiche, ma, cionondimeno, si eleva e decade insieme con esse, secondo un rapporto esattamente numerico; epperò, essa entra, se non direttamente, in un modo indiretto, nel gruppo delle forze collegate tra loro. — In secondo luogo, l'autore della memoria citata, potrebbe sostenere che, sebbene una determinata quantità di manifestazioni mentali sia associata con una determinata quantità di ossidazione, negli organi che servono in particolar modo alla mente, non vi è modo di esprimere questa associazione mediante un certo rapporto, nemmeno per approssimazione. — Rispondo, che se ciò è difficile, non è, però, assolutamente impraticabile. Si può trovare, almeno per approssimazione, la quantità di sangue, che circola nel cervello, nelle ordinarie condizioni di attività; e poichè, durante i periodi di maggiore eccitamento, sappiamo che vi è una depressione generale, quasi una paralisi, delle funzioni vitali, può darsi che non c'inganniamo di molto, dicendo che, in queste condizioni, una metà, per esempio, o un terzo, dell'ossidazione, che si compie nell'organismo, si spende nel mantenere il fuoco cerebrale.

Costituisce un grave ostacolo al progresso, in ogni ramo di scienza, l'esservi, tra certe quantità, una relazione, che non si può ridurre alla precisione di un rapporto numerico. Questo caso si presenta, in alto grado, nella questione della mente, benchè non soltanto in essa; molte qualità fisiche sono, analogamente, in uno stato di imperfetta misura. Non si può ridurre ad un numero la deter-

Digitized by Google

minazione del vigore corporale di un uomo, cosi da precisare quanto esso ha perduto in seguito a fatiche, a malattie, ad età, e quanto ha guadagnato, in conseguenza di un reggime salubre. Senza dubbio, dipendono dalla nostra mente le difficoltà grandissime, per non dire quasi insuperabili, che c' impediscono di ottenere una misura numerica. Allorchè diciamo che un uomo è più coraggioso, più sensibile all'amore, più irascibile di un altro, noi applichiamo una scala di gradi, che esiste nella nostra mente, ma cosi vaga che, in tempi diversi, noi stessi potremo applicarla in diversa maniera, mentre ci riescirà ben difficile comunicarla agli altri, in modo che la percepiscano esattamente come noi. In conseguenza di ciò, si deve sempre concedere un gran margine a siffatte determinazioni, e non si può mai fare un ragionamento stringente, nè sostenere una discussione, intorno ad ogni lieve ombra di distinzione.

Il più esperto osservatore non potrebbe decidersi intorno a sette od otto varietà d'una delle tante gradazioni di carattere, che stanno fra un estremo coraggio, ed un'estrema timidità; mentre, due diversi individui, consultati insieme, converranno difficilmente, sopra una suddivisione cosi sottile. I frenologi, nel graduare la loro scala di qualità, si giovavano di indicazioni esterne date dalle dimensioni: ma, essi devono avere capito come tornasse inutile il graduarla cosi minutamente, da sorpassare la massima delicatezza, colla quale si possono distinguere i caratteri, dal punto di vista soggettivo; la loro scala più minuta comprendeva venti stadii o interpolazioni.

Lasciando di considerare questo inevitabile difetto, cercherò di presentare una serie di esempii, i quali dimo-

Digitized by Google

strano come il principio della correlazione si applichi alla mente nel modo indicato. Io non tratto colla mente, per via diretta, ma col suo lato materiale; la cui attività esattamente misurata, nel modo che si misurano le forze fisiche, presenta, colla vera attività mentale, una ben definita corrispondenza.

Però, supponiamo che un uomo, dotato di una costituzione fisica di medio vigore, sia sufficientemente fornito di cibo e d'aria, ed ossigeno. Come risultato della ossidazione del cibo, si sviluppa una certa quantità di forza, che può distribuirsi in varie maniere. La parte richiesta dal cervello, per sostenere le funzioni puramente mentali, può essere inferiore, o superiore, alla media; in corrispondenza, ma in senso opposto, vi dev'essere una variazione della quantità, che rimane utilizzabile nei processi più specialmente fisici, come la forza muscolare, la facoltà digestiva, il calore animale, e va discorrendo.

Nel primo caso, quello in cui si richiede poco pel lavoro, od eccitamento, mentale, noi cerchiamo, ed otteniamo, un miglior *fisico* — una forza muscolare ed una robustezza più considerevole, un maggior vigore di digestione, che rende qualunque cibo sufficiente alla nutrizione, una resistenza maggiore agli eccessi di caldo e di freddo: in breve, una costituzione atta a sostenere gli uffici e i disagi dalla vita fisica.

Ora, prendiamo l'estremo opposto. — Si richieda molto pel lavoro mentale. — In tal caso, l'ossidazione s'impiega eccedentemente nel cervello, e si dà meno ai muscoli, allo stomaco, ai polmoni e ai diversi organi secretorii. Diminuiscono la quantità di lavoro, che i muscoli possono fornire, la facoltà di sostentarsi con cibi grossolani, e quella

Digitized by Google

di resistere ai disagi. Tutte queste deduzioni sono comprovate dall'esperienza; da tutti gli osservatori, in generale, fu riconosciuto il fatto, — sebbene in modo vago ed incerto, — che chi lavora di testa non è egualmente idoneo a lavorare di braccia. Il padrone, la padrona, e il sopraintendente hanno, ciascuno, sentimenti più delicati, miglior tatto e maggiore ingegno dei loro giornalieri, sempre costretti al lavoro, ma questi, alla lor volta, li superano nella forza muscolare e nella perseveranza.

Non è punto incompatibile col nostro principio la possibilità di combinare insieme, in certe condizioni favorevoli, l'esercizio fisico coll'esercizio mentale. Anzi, il nostro principio c'insegna, precisamente, che cosa dobbiamo fare per ciò. — Miglioriamo la qualità, ed aumentiamo la quantità del cibo; accresciamo il contingente di ossigeno, scegliendoci una salubre dimora; l'esercizio abituale dei muscoli sia tale da rinforzar le funzioni, e non da estenuarle; evitiamo, più che sia possibile, gli eccessi e le intemperanze, così corporali che intellettuali; aggiungiamo l'immensa economia di un'educata disposizione delle forze; ed otterremo un più perfetto sviluppo, un *aggregato maggiore* di forza. Avremo allora più di quanto abbisogna per ogni sorta di spesa — così per la fisico-mentale, come per quella che possiamo chiamare strettamente fisica. Che più ci abbisogna, per spiegare la superiorità militare dell'officiale sul gregario? e la generale efficienza dell'uomo, che le materiali ricchezze adopera pel proprio sviluppo, e non si lascia snervare da esse.

Può darsi che, in qualche futuro stadio dell'indagine scientifica, si riesca a valutare quanta ossidazione si fa nel cervello, durante i forti lavori intellettuali. Anche at-

Digitized by Google

tualmente, possiamo, con sicurezza, conchiudere, da ovvii fenomeni, che tal lavoro rappresenta una frazione considerevole della quantità, che se ne compie nell'intero organismo. Il trascuramento, che, durante l'esercizio mentale, subiscono tutti gli altri interessi, è così palese, così esteso, che se l'esercizio stesso viene a lungo protratto, torna poi necessario di concedere ad essi un largo compenso, per evitare un complessivo fallimento. L'abuso delle facoltà intellettuali non val meno dell'abuso di quelle dei muscoli, a consumare la forza: e si potrebbe far la questione, se l'uno o l'altro, riducono le rimanenti forze del corpo, fino ad una metà del loro conveniente valore. Così nell'un caso come nell'altro, il lavoro di restaurazione deve consistere semplicemente nel togliere lo squilibrio, permettendo che il sangue fluisca, in quantità maggiore della media, agli organi impoveriti, per un tempo corrispondente al periodo, in cui essi furono insufficientemente nutriti. — Mi sembra che questa considerazione implichi la base razionale, e vorrei dire aritmetica, di una cura dell'organismo, nelle malattie croniche. Noi *paghiamo il debito alla Natura,* nutrendo meglio l'organo indebolito, ed esigendo meno da esso, a norma del decadimento, che ha subito, in conseguenza di un trattamento affatto contrario. In una classe numerosa di malattie si manifesta una specie di fallimento, a cui si deve rimediare, mediante un giusto metodo di ricquilibrare le spese colle rendite. E, se questa teoria è la vera, ne segue che la medicazione non è altro che un sussidio secondario. Le medicine, anche nel caso in cui sono meglio applicate, non possono che indirizzare e favorire il processo restaurativo; non altrimenti, eccitando un fuoco, si può suscitare la combustione, purchè vi sia il necessario combustibile.

Digitized by Google

Così, fra il complesso delle forze fisico-mentali, e quello dei processi puramente fisici, vi è una relazione determinata, quantunque non valutabile in numeri. La somma delle ossidazioni, che avvengono nel sistema, abbraccia l'uno e l'altro complesso; e tanto maggiore è la quantità di forza assorbita dall'uno, tanto minore è la quantità, che resta a disposizione dell'altro. In ciò consiste la correlazione della mente colle altre forze di Natura. Noi non consideriamo una mente pura — una mente in astratto; nè abbiamo conoscenza di un'entità di tal genere. Noi consideriamo, invece, un fenomeno composto, bilaterale, intellettuale da un lato, e fisico dall'altro; fra i due lati vi è una definita corrispondenza nel grado, sebbene una differenza di natura; e il lato fisico è completamente collegato colle forze fisiche, che si riscontrano in natura.

II. Ci rimane un'altra applicazione della teoria, forse non meno interessante, la quale entra più particolarmente nel mio ordine di studii. Intendo la correlazione reciproca delle forze mentali, [sempre considerate nel meccanismo, che vi si trova congiunto]. Nel modo stesso che risguardiamo la totalità della mente, come limitata dalla quantità di spesa fisica, che le viene ceduta, nell'ossidazione ecc., così dobbiamo risguardare ciascuna fase o modalità del lavoro mentale, — pensiero, sentimento, ed altre — come limitata dalla parte, che separatamente le tocca; cosichè, mentre la totalità della mente è circoscritta dalle esigenze delle funzioni non mentali, le sue manifestazioni distinte sono circoscritte, ciascuna, dalle esigenze dell'altre. Questa è una inevitabile conseguenza del principio generale, confermata, essa pure, dall'esperienza. La valutazione manca, in questo caso eziandio, di precisione numerica: la nostra

Digitized by Google

scala di quantità non è suscettibile che di poche divisioni fra il massimo ed il minimo grado, e queste pure non sono ben definite.

Per fare questa applicazione del nostro principio, non dobbiamo far altro che riconoscere il costo relativo delle diverse funzioni della mente, considerate dal punto di vista fisico.

Le funzioni della mente si dividono, per sommi capi, in sentimento, volontà e pensiero; si manifesta il sentimento nei piaceri, e nei dolori, — la volontà, negli sforzi per ottenere i primi ed evitare i secondi, — il pensiero, nelle sensazioni, nelle idee, nelle sintesi, nei ragionamenti, nelle immaginazioni, e così via. Ora, le forze della mente, in unione coi loro sussidii fisici, su queste tre funzioni, si possono egualmente o disugualmente distribuire. Possono volgersi di preferenza, al sentimento, o all'azione, o all'intelletto; e, se più è dato all'uno, meno rimane per gli altri, essendo limitata la quantità disponibile.

Cominciamo dai sentimenti. Ogni impeto di piacere costa qualche cosa al sistema fisico; e due impeti costano il doppio di uno. Se non possiamo fissare un equivalente preciso, non è perchè la relazione non sia ben definita, ma per la difficoltà di ridurre i gradi di piacere ad una certa unità. Tuttavia non si può ragionevolmente dubitare del fatto, che una grande quantità di piacere implica una spesa corrispondente di sangue e di tessuto nervoso, in gran quantità, a scapito dell'energia attiva e dei processi intellettuali. È un'indagine praticamente importante, lo stabilire quali sono i piaceri, che costano meno, giacchè possiamo spendere il nostro cervello, ed il nostro sangue, in modi più o meno economici. L'esperienza sicuramente ci appoggia, se diciamo che i narcotici sono stimolanti, i

Digitized by Google

quali richiedono, in generale, una spesa maggiore di quella che corrisponde allo stimolo del cibo, della compagnia, delle belle arti. Uno dei diletti più sicuri, se non dei più vivi, è quello che procura un' abbondanza di vigore nell' organismo; poichè, in questo caso, la quantità di forza, ceduta al cervello, non dev' esser tale da intaccare l'interesse complessivo del nostro sistema. — Ma, la teoria del piacere è incompleta, senza la teoria del dolore.

Di regola, il dolore è un'esperienza, che costa più del piacere, sebbene talvolta si possa dire economico, come freno a dispendiosi piaceri. Il dolore è fisicamente associato con un' eccessiva quantità di sangue nel cervello, prodotta da due cause almeno: un'estrema intensità dell'azione dei nervi, ed un conflitto di correnti, — cagioni, l'una e l'altro, di guasti. L' insonnia, che accompagna le condizioni penose, esprime che la circolazione nel cervello non può rallentarsi; l'irritazione mantiene intense correnti, e queste trasportano gran copia di sangue alle parti offese.

Si può dare un eccitamento, abbastanza sentito, senza essere nè un piacere nè un dolore, e il suo costo è proporzionale all'intensità; tale può dirsi un semplice stato di sorpresa. Questi eccitamenti non hanno che un interesse intellettuale; possono arrestare il pensiero, colpire la memoria, ma non sono, come il piacere, scopo della nostra esistenza, nè tanto, quanto il dolore, consumano la forza. La miglior condizione, che noi possiamo ideare, è un leggiero eccesso di piacere, un dolce calore, che si elevi, soltanto ad intervalli considerevoli [per breve tempo, ogni giorno] in ardore ed esaltazione, e spesso cada in indifferenza, ma, ben di rado, precipiti in pena.

Sotto il dominio di sentimenti assai forti, specialmente

Digitized by Google

quando la complessione è giovanile e robusta, suole spiegarsi una quantità ragguardevole di veemenza puramente corporea, nel gestire, nell'atteggiar la persona, nel modulare la voce, e così via. Tutto ciò vale come lavoro di muscoli, che si deve aggiungere al lavoro del cervello. Propriamente parlando, le correnti cerebrali si scaricano in movimenti, modificandosi in relazione agli scopi, prefissi ai movimenti medesimi. Il trattener questi moti, deve aumentare l'attività intellettuale del cervello, sebbene una prolungata resistenza possa completamente sopprimere l'onda.

Veniamo alla volontà, ossia al lavoro, allo studio, che volitivamente si compie, per il grande scopo di ottener il piacere e di schivare il dolore. Questo atto del nostro sistema si compone di sentimento e di moto; sebbene il fatto strettamente mentale consti di sentimento: il piacere o il dolore, reale od immaginario. Quando i nostri sforzi volitivi riescono, ne risulta un impeto di piacere, che si deve aggiungere ai nostri godimenti maggiori; quando falliscono, ne susseguе uno stato d'abbattimento e di pena. Le più complicate operazioni della volontà, come l'accordare molti interessi, fra loro contrarii, ci trasportano nel campo del contrasto, sempre doloroso ed infesto. Due stimoli, forti entrambi, e in opposto verso, quali si hanno nel caso di un ammalato, che deve pagare a caro prezzo la conservazione della propria vista al chirurgo, mettono in una agitazione crudele, e seriamente deprimono, i sussidii fisici dei sentimenti.

Quantunque i fenomeni di sentimento involgano tutti una manifesta spesa di forza fisica, che va necessariamente perduta per le funzioni puramente fisiche, e può diventare

Digitized by Google

considerevole; quantunque i gradi estremi del piacere, del dolore e dell'eccitamento neutrale, debbano essere contrarii al vigor generale; pure, si può presumere che noi possiamo sostenere una certa quantità moderata di tutti questi atti, senza troppo intaccare i rimanenti interessi. È la nostra parte pensante, o intellettuale, che, nella regione fisico-mentale, assorbe la maggior quantità della forza spesa. Ogni grande e generale coltivazione delle facoltà di pensare, ogni occupazione, che seriamente e prolungatamente le mette in azione, produce una tale preponderanza d'attività cerebrale, per riguardo all'ossidazione e alle correnti nervose, che disturba l'equilibrio della vita, e richiede, per rimediarvi, disposizioni speciali. Ciò è pienamente verificato da quanto sappiamo, intorno alla tendenza dell'applicazione intellettuale ad esaurire le forze fisiche, e a cagionarvi un deperimento precoce.

Una scrupolosa analisi delle operazioni dell'intelletto ci rende atti a distinguere il genere d'esercizii, che implica la spesa maggiore, in conseguenza dell'estensione e dell'intensità dell'occupazione cerebrale corrispondente. Qui non posso dare che un rapido sguardo, scegliendo i punti principali della questione:

In primo luogo. Il semplice esercizio dei sensi, nel porre attenzione, o allo scopo di osservare, distinguere o collegare, è una funzione intellettuale, che esaurisce le forze quanto più dura, e maggiore è la delicatezza dell'operazione; tal delicatezza riferendosi all'esaltazione dell'attività dell'organo, necessaria per eseguire il discernimento richiesto. Lo stare tutto il giorno sul *chi va là*, perchè ogni minima ed appena percettibile impressione non isfugga all'occhio od all'udito, come quando si devono afferrar le

Digitized by Google

parole di una persona che parli indistintamente, è un lavoro d'attenzione assai faticoso.

In secondo luogo. Il lavoro d'acquisizione è, necessariamente, un processo che richiede grande spesa di nervi. L'imitazione materiale è l'atto che costa meno di tutti, perchè non vi è sforzo di riluttante attenzione. Ma, una serie di estese e varie acquisizioni non può mantenersi, senza che un copioso contingente di sangue si spenda nel cementare le frequenti connessioni delle fibre nervose, che costituiscono il meccanismo fisico dell'acquisizione. Un abbattimento del meccanismo dell'altre funzioni mentali, come pure delle funzioni strettamente fisiche, deve accompagnare una vita dedicata al perfezionamento mentale — alle arti, alle lingue, alle scienze, ai precetti morali, o ad altra coltura.

Tra le acquisizioni speciali, le lingue sono le più apparentemente voluminose; però la memoria delle cose visibili, o delle immagini pittoresche, se è molto grande, come nel pittore e nel poeta descrittivo, richiede al cervello una quantità enorme di combinazioni plastiche.

L'acquisizione di scienza è faticosa piuttosto che multiforme; essa si vanta di comprendere molto in poco; ma, questo poco è costituito d'elementi a stento ridotti, ciascun dei quali, in ultima analisi, deve avere a suoi ordini un esercito di particolari esplicatorii; epperò l'acquisizione scientifica, in fin dei conti, s'appoggia ad una moltitudine di cognizioni. Se la scienza è facile per un eletto numero di menti, egli è perchè vi è una copiosa e spontanea distribuzione di forza agli elementi cerebrali, che vi corrispondono: la qual forza viene fornita dal circoscritto fondo comune, onde tanto meno ne resta per gli altri casi.

Digitized by Google

Se consideriamo le acquisizioni e le abitudini morali in una giusta intelligenza, dobbiamo ammettere che una larga spesa abbisogna, anche per costruire questo edificio. Lo scrupoloso giudizio fra il bene ed il male, in relazione a sè stesso, il sentimento ognor presente dell'altrui interesse, e la pronta obbedienza a tutti gli speciali precetti, che costituiscono la moralità del caso, quantunque esprimano, propriamente, un' elevata e distinta spiritualità, hanno il loro riflesso sull' organismo corporeo; essi impiegano una ragguardevole e determinata qualità d' alimento, ed ove siano meno sviluppati, si ha un guadagno di forza, utilizzabile in altre operazioni, mentali o fisiche.

Lasciando ulteriori dettagli, intorno a questo punto, chiudo la mia spiegazione con un breve sguardo ad un altro lato della spesa mentale, e cioè al campo della produzione, dell'esecuzione, o della creatività intellettuale, che sono lo scopo prefisso alle nostre facoltà acquisite. Naturalmente, quanto maggiore è la sola durata, o la quantità, del lavoro mentale negli affari, nelle speculazioni, nelle arti belle, o in altro studio qualsiasi, tanto più si deve richiedere al *fisico*. Ma la quantità non è il solo elemento. Vi sono differenze notevoli di gravità e di fatica, le quali, considerate nei loro definitivi caratteri, si possono succintamente ridurre al numero, alla varietà, e alla contraria natura delle diverse condizioni, che devono essere soddisfatte. Con ciò, noi spieghiamo la durezza del lavoro, l'affanno dell' invenzione, la fatica dell' adattamento, la pena del sovraintendere, la responsabilità di un alto ufficio, la severità di un elevato ideale, la distrazione che deriva da numerose simpatie, il merito di un sano giudizio, la difficoltà d'ogni grande virtù. I fatti fisici, che corrispondono

Digitized by Google

a questi fatti mentali, sono un'estesa agitazione delle correnti cerebrali, un tumultuoso conflitto, un consumo d'energia.

Questa complicazione di numerose ed opposte condizioni è ciò che meno si considera, nell'apprezzare i caratteri. L'ignota soppressione di forza che, per una diligenza eccessiva, subisce un cauto pensatore, un accurato scrittore, uno scrupoloso artista, rappresenta una grande spesa fisico-mentale. La dimostrazione è una pesante pastoia, per le ali di un'ardita speculazione. Quanto maggiore è il numero degli interessi, che un legislatore può metter da banda, tanto più facile riesce l'opera sua. La mancanza di restrizioni — di condizioni severe — nelle belle arti, permette un'abbondanza, un'effervescenza, ed una ricchezza di produzione, che si considera spesso come manifestazione del genio più grande. La profusione d'immagini, che troviamo in Shakespeare, sarebbe stata ridotta alla metà, per non dire ancor meno, dal freno, che s'imponevano Pope, Gray e Tennyson. — La soverchia facilità d'asserire, fomenta l'eloquenza. — Una persona di ordinaria schiettezza non sarebbe capace del sale e dell'epigramma di Swift.

Finalmente, l'incompatibilità dei diversi attributi, anche nelle menti più vaste [le quali suppongono facoltà fisiche egualmente sviluppate] è una conseguenza della stessa legge fondamentale. Un gran mente può esser grande in molte cose, perchè la stessa specie di forza è suscettibile di numerose applicazioni. Una mente scientifica di prim'ordine, è pure una mente pratica; ivi l'essenza della ragione si manifesta, in tutte le sue forme, e si ha il vero filosofo, così nella pratica come nella teoria. Una mente siffatta può anche avere una tinta di coltura artistica; il suo po-

Digitized by Google

tere d'acquisizione può arrivare fin qui. Ma, in questo istesso individuo non si potrebbe trovare, e gli esempi lo attestano, l'immaginazione spontanea, esuberante, la natura intimamente artistica. Aristotile non sarebbe riuscito nella tragedia eziandio, e Newton, nell'arte di dipinger ritratti, non avrebbe raggiunto la mediocrità. L'uno dei due modi d'intellettuale grandezza costa tutto ciò che può dare l'individuo più largamente fornito; ogni apparenza contraria è vana ed illusoria.

Si possono dare altri esempii. — La grande attività e la grande sensibilità sóno fasi estreme, che impiegano, ciascuna, un copioso contingente di forza, per il che possono a stento combinarsi nello stesso sistema. L'uomo attivo, energico, che ama l'attività per sè stessa, e continuamente si agita, manca della delicata circospezione dell'uomo, che non ama l'attività per sè stessa, ma che agisce soltanto, quando lo spronano i suoi sp ciali interessi.

E di più. Un intelletto grande, per la sua vastità, non facilmente si trova unito con una natura fortemente sensibile. Questa incompatibilità si vede nel modo più manifesto, cercando se gl' individui dotati di sentimento eccessivo sono profondi ed originali pensatori, autori di grandi scoperte, indagatori accurati, maestri nel trattare gli affari; ossia, se la loro grandezza non è circoscritta alla sfera dove domina il sentimento: — la poesia, l'eloquenza, e l'ascendenza sociale.

FINE.

Digitized by Google

Digitized by Google